

50X1-HUM

PROCESSING COPY

INFORMATION REPORT INFORMATION REPORT

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

This material contains information affecting the National Defense of the United States within the meaning of the Espionage Laws, Title 18, U.S.C. Secs. 793 and 794, the transmission or revelation of which in any manner to an unauthorized person is prohibited by law.

S-E-C-R-E-T

50X1-HUM

COUNTRY	Bulgaria	REPORT	
SUBJECT	Military Publications: <u>Light</u> <u>Radiation from Atomic Explosions;</u> <u>Problems in Radio Engineering.</u>	DATE DISTR.	29 May 1958
		NO. PAGES	1
		REQUIREMENT NO.	RD

50X1-HUM

DATE OF INFO.

PLACE & DATE ACQ.

SOURCE EVALUATIONS ARE DEFINITIVE. APPRAISAL OF CONTENT IS TENTATIVE.

- a. M. P. Arkhipov, Light Radiation From Atomic Explosions (Svetlinno Izlchvane Pri Atomniya Vzriv), published by the military press of the Ministry of National Defense in 1958. This is a translation of the Soviet 1956 publication.
- b. Yordan D. Penchev, Problems in Radio Engineering (Zadachi Po Radiotekhnika) published by the Meditsina i Fizkultura press in 1958.

50X1-HUM

2. When detached from the report the above publications are unclassified.

50X1-HUM

S-E-C-R-E-T
NOFORN/CONTINUED CONTROL

STATE	X	ARMY	X	NAVY	X	AIR	X	FBI		AEC				
(Note: Washington distribution indicated by "X"; Field distribution by "#".)														

50X1-HUM

INFORMATION REPORT INFORMATION REPORT

М. П. АРХИПОВ

**СВЕТЛИННО
ИЗЛЪЧВАНЕ
ПРИ
АТОМНИЯ
ВЗРИВ**

ДЪРЖАВНО ВОЕННО ИЗДАТЕЛСТВО ПРИ МНО

STAT

М. П. АРХИПОВ

СВЕТЛИННО ИЗЛЪЧВАНЕ
ПРИ АТОМНИЯ ВЗРИВ

1958
ДЪРЖАВНО ВОЕННО ИЗДАТЕЛСТВО ПРИ МНО

ATT!

М. П. Архипов
инженер-подполковник
кандидат технических наук

СВЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
АТОМНОГО ВЗРИВА

Военное Издательство
Министерства Обороны Союза ССР
Москва — 1956

ПРЕДГОВОР

На XX конгрес на КПСС се изтъкна, че при изграждането на Съветските въоръжени сили се изхожда от начините за водене и от формите на бъдещата война, която ще се отличава много от всички минали войни. Бъдещата война, ако я започнат подпалвачите на войни, ще се характеризира с масово използване на военновъздушни сили, разнообразно ракетно оръжие и различни средства за масово поражение, като атомно, термоядрено, химическо и бактериологично оръжие. Обаче най-новото оръжие, включително и средствата за масово поражение, не намалява решителното значение на сухопътните армии, флотата и авиацията: без добре организирано взаимодействие между тях не може да се води успешно съвременната война.

Под постоянните грижи на партията и правителството за отбранителната способност на нашата страна въоръжените сили коренно се преобразиха и в качествено отношение отидоха далеч напред спрямо равнището на подготовката им в края на Вслската отечествена война.

Нарасналите възможности на съветската икономика и преди всичко големите постижения в тежката промишленост позволиха нашата армия, авиация и флота да се превъоръжат с първокласни бойни технически средства. Организацията на войските и подготовката им са доведени в съответствие с условията за прилагане на най-новите бойни технически средства.

В състава на нашите въоръжени сили значително нарасна процентното количество на военновъздушните сили и войските на противовъздушната отбрана. Осъществена е пълна механизация и моторизация на армията. Съветските въоръжени сили имат сега разнообразно атомно и термоядрено оръжие и мощно ракетно и реактивно въоръжение от различни видове, включително и ракети за далечно действие. Съветският съюз разполага със сигурни средства, за да изпрати чрез самолети или ракети атомни и водородни бомби в който и да е пункт на земното кълбо. В областта на производството на термоядрено оръжие съветските хора постигнаха такъв успех, че не Съветският съюз, а някои капиталистически страни изпаднаха в положението на изостанали.

С оглед на своята безопасност Съветският съюз е принуден да поддържа на въоръжение редица видове атомно и водородно оръжие с различна взривна мощност. В края на 1955 год. в съответствие с плана за научноизследователските и експериментални работи в областта на атомната енергия в нашата страна бяха изпитани нови типове атомно и термоядрено (водородно) оръжие. Резултатите напълно потвърдиха съответните научно-технически изчисления. Те показаха също нови важни постижения на съветските учени и инженери. Опитният взрив на водородна бомба, хвърлена от самолет, беше най-мощният от всички до това време. За да се предотврати опасността от радиоактивно въздействие, взривът беше извършен на голяма височина. Заседно с това се предприеха обширни изследвания на въпросите за защита на хората. Нашите учени и инженери успяха при сравнително малко използвани ядрени материали да получат взрив,

равен по сила на взрива на много милиони тонове обикновени взривни вещества. При това тази сила може да бъде значително увеличена.

Като прави споменатите опити с оглед на своята безопасност, Съветският съюз, както и преди, ще се бори в Организацията на обединените народи да се постигне съгласие за забрана на атомното и водородното оръжие и за установяване на действителен международен контрол и намаляване на всички други видове оръжия, ще се бори за по-нататъшното ослабване на международното напрежение и установяване на доверие между държавите, за поддържане и укрепване на всеобщия мир.

Атомното и водородното оръжие още повече укрепват отбранителната способност на Съветския съюз и повишават ролята на съветската държава в борбата ѝ за мир в целия свят.

На Запад някои противници на разоръжаването, като изхождат от лъжливата предпоставка, че уж имат някакви предимства в атомното оръжие, считат, че за тях разоръжаването е неизгодно. Съветският народ е предупреждавал и предупреждава тези защитници на прословутата политика „от позиция на силата“, че те могат сериозно да се излъжат в своята хазартна игра.

Ние не желаем никого да заплашваме, а още повече не желаем да се хвалим с нашите военнотехнически постижения. Но за да се охлади разпадеността и на най-ревностните привърженици на надпреварата във въоръжаването, включително и на тези, които размахват с пропагандна цел атомната бомба, трябва да им напомним за резултатите от проведените в 1955 год. опити с най-новата съветска водородна бомба. Привържениците на атомната война трябва да знаят,

ATTI
 че сега не може да се воюва, без да се понесат противоудари. Ако искаш да нанесеш атомни удари по противника, бъди готов да получиш такива, а може би и много по-мощни удари от негова страна.

Съветският съюз никога не заплашва и не се готви никога да напада. Но във връзка с това, че още не е постигнато съгласие за намаляване на въоръжените сили и забрана на атомното и водородното оръжие, както и във връзка с това, че още не е създадена колективна безопасност в Европа и засега няма здрава гаранция за траен мир, ние сме принудени да поддържаме такива въоръжени сили, които със сигурност да защитят интересите на нашата родина, така че никаква вражеска провокация да не бъде неочаквана за нас.

През последните години в сухопътните войски, авиацията и флотата се направи много по обучението на войските във водене на бойни действия с използване на атомни оръжия и други нови средства за борба. Съединенията и частите получиха необходимата практика в решаването на бойни задачи при сложна земна, въздушна и морска обстановка. Те се запознаха с бойните свойства на атомното оръжие.

По своето унищожително действие атомното оръжие значително превъзхожда всички видове обикновени оръжия. Както е известно, при атомния взрив се нанася поражение на хората и различните видове съоръжения чрез ударната вълна, светлинното излъчване, проникващата радиация и радиоактивното заразяване на местността. Въпреки това има различни средства и начини за предпазване от това оръжие.

Войска, която е добре подготвена и обучена да действа при използване на атомно оръжие,

може успешно да настъпва и да се отбранява, да изпълнява всякакви бойни задачи.

За да могат войските да изпълняват успешно всякакви бойни задачи в обстановка на атомно въздействие, нужно е преди всичко отлично да се знаят поразяващите фактори на атомното оръжие. Това дава възможност правилно да се организира противоатомната защита. В настоящата брошура е разгледан най-подробно един от поразяващите фактори на атомния взрив — светлинното излъчване.

Под светлинно излъчване при атомния взрив се разбира излъчване с широк обхват от дължини на вълните, включващ както видимата част на спектъра, така и невидимата — ултравиолетовите и инфрачервените лъчи.

Енергията на светлинното излъчване се поглъща от повърхността на осветените тела и те се нагряват. Степента на нагряването зависи от много фактори. Тя може да бъде такава, че повърхността на предметите да се овъгли, да се стопи или да се възпламени.

Светлинното излъчване при атомния взрив трае само няколко секунди, но е толкова силно, че въпреки кратковременното му действие може да предизвика обгаряне на откритите части от човешкото тяло и временно ослепяване, ако се гледа по посока на взрива. Обгарянията от светлинно излъчване не се отличават от обгарянията с огън или вряла вода. Те са толкова по-силни, колкото е по-малко разстоянието до центъра на взрива и колкото по-дълго е въздействието на светлинното излъчване. Светлинната, която излъчва светещата област, се разпространява, както и слънчевата светлина, праволинейно и не прониква през непрозрачни материали.

Поради това всяка преграда (стена, покрити фортификационни съоръжения, броня, брезент, гъста гора), която предпазва от прякото действие на светлината, предпазва и от обгаряне. Облеклото предпазва от непосредственото въздействие на светлинното излъчване върху кожата. Всяко закритие, което предпазва от ударната вълна, предпазва и от светлинното излъчване.

Под действието на светлинното излъчване може да се възпламенят лесно запалителни предмети от военното имущество, оставени на открито: седалки, брезентови покривки и др. Възможно е да се запалят или овъглят откритите дървени части на оръжието, техническите средства и съоръженията. Светлинното излъчване може да предизвика пожари в горите, степите и населените пунктове, където лесно може да се подпалят най-напред съчките, сламата, сухата трева и т. н.

В мъгла, дъжд и снеговалеж действието на светлинното излъчване е значително по-слабо, отколкото в ясно време. При подводен атомен взрив светлинното излъчване ослабва много поради дебелия слой вода. В сухо време действието му се проявява на значително по-големи разстояния, отколкото действието на другите поразяващи фактори. Имено поради това този поразяващ фактор при атомния взрив изисква подробно разглеждане.

Брошурата се състои от пет глави.

В глава I се говори за поразяващото действие на атомния взрив и се посочва ролята на светлинното излъчване в сравнение с другите поразяващи фактори при атомния взрив.

Съвременната военна техника е сложна. Поради това военнослужащите и особено командният състав трябва да имат обширна военнотехниче-

ска култура, за да може нещо да боравят с тая техника. Нужно е съзнателно, творчески да се разбират научните основи на нашите и противниковите бойни технически средства. Сега бойната подготовка на войските се измени качествено. Тя изисква научен анализ и научно предвиждане за насоките в развоя на новата военна техника. Поради това в брошурата са намерили отражение научните основи на някои въпроси, свързани със светлинното излъчване при атомния взрив. По-специално това се отнася за II и III глава.

В глава II се разглежда същината на светлинното излъчване, а в глава III — температурните източници на светлината и законите на излъчването. Както е известно, източникът на светлинно излъчване при атомния взрив — огненото кълбо — е също така температурен източник на светлината.

В глава IV се разглежда светлинното излъчване при атомния взрив. В нея се говори за законите, определящи излъчването и разпространението на светлината при атомния взрив.

В глава V е посочено поразяващото действие на светлинното излъчване и се изброяват средствата и начините за защита, които напълно предпазват от поразяващото действие на светлинното излъчване и на другите поразяващи фактори при атомния взрив.

Бойните свойства на атомното оръжие трябва да се изучат добре, за да може да се действа умело при употребата му и за да се усвоят добре начините за противоатомна защита. Като познава отлично задълженията си и действа умело при атомно нападение, военнослужащият може успешно да изпълни бойната задача и да запази живота си.

ГЛАВА I

ОСОБЕНОСТИ И ПОРАЗЯВАЩО ДЕЙСТВИЕ НА АТОМНИЯ ВЗРИВ

При атомен взрив, както и при избухване на обикновени взривни вещества, се образува ударна вълна и се поражда светлинно излъчване. В това се състои сходството между обикновения и атомния взрив. Обаче разрушителното действие на ударната вълна и запалителната способност на светлинното излъчване при атомен взрив са значително по-големи, отколкото при обикновен взрив.

Атомният взрив се отличава от обикновения и по това, че освен ударна вълна и светлинно излъчване при него се появява и невидимо излъчване, наречено проникваща радиация. Проникващата радиация оказва вредно действие върху организма на човека. Освен това при атомен взрив в района на взрива и по пътя на движението на образувания облак се подлагат на радиоактивно заразяване местността, водата, различните предмети, бойните технически средства и хората, намиращи се на открито. Радиоактивното заразяване се причинява от падналите вещества, получени при атомния взрив, както и от образуванията в района на взрива радиоактивни вещества в почвата (водата) под действието на неутроните. Радиоактивните вещества са източник на радиоактивни излъчвания, които, както и проникващата радиация, действуват вредно на човешкия организъм.

1. ВИДОВЕ АТОМНИ ОРЪЖИЯ

Преди да преминем към разглеждането на светлинното излъчване при атомния взрив, трябва накратко да припомним общите особености на атомното оръжие с взривно действие. Това се налага от обстоятелството, че светлинното излъчване действа в съвкупност с другите поражаващи фактори на атомния взрив.

Атомно оръжие се нарича това оръжие, чието действие се основава на използването на атомната (ядрената) енергия.

Има два вида атомно оръжие — атомно оръжие с взривно действие и бойни радиоактивни вещества (БРВ).

Атомното оръжие с взривно действие се основава върху използването на атомната енергия, която се отделя практически мигновено при ядрената реакция, имаща взривен характер. Това оръжие служи за пораждане на жива сила, за разрушаване на различни видове съоръжения, за унищожаване или повреждане на бойни технически средства. Атомното оръжие с взривно действие е известно понастоящем във вид на атомни и водородни бомби. Обаче то може да се използва и във вид на артилерийски снаряди, торпеда, ракети и управляеми самолети снаряди.

В качествено отношение поражаващото действие на атомните и водородните бомби, торпедата, снарядите и т. н. е еднакво. Разликата се състои само в мощността на атомния или водородния им заряд.

Бойни радиоактивни вещества се наричат специално приготвени за бойна употреба вещества, които съдържат радиоактивни атоми. Поражаващото действие на тези вещества се дължи на

вредните за живите организми радиоактивни излъчвания. С тези вещества може да се заразяват местността, въздухът, водата, хранителните продукти и различни предмети с цел да се нанесе поражение на хората.

Мощността на атомния и водородния взрив обикновено се характеризира с тротилов еквивалент. Под тротилов еквивалент се разбира теглото на тротилов заряд, чиято взривна енергия е равна на взривната енергия на дадена атомна (водородна) бомба.

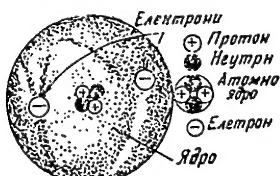
Тротиловият еквивалент на атомните бомби може да достигне няколкостотин хиляди тона, а на водородните бомби до няколко милиона и даже десетки милиона тона.

Понастоящем основен вид атомно оръжие са атомните (водородните) бомби, които се хвърлят от различни видове самолети в зависимост от разстоянието до целта и калибъра на бомбите.

2. ФИЗИЧНА ОСНОВА НА АТОМНОТО И ВОДОРОДНОТО ОРЪЖИЕ

Всичко в природата е съставено от невъобразимо дребни частици, наречени атоми. Атомът е най-малката частица на химичните елементи (простите вещества). Всеки химичен елемент (водород, хелий, литий, уран и др.) се състои от един вид атоми. Понастоящем са известни 101 химичен елемент или с други думи известни са 101 вид атоми. Атомите се различават помежду си по строежа, размерите и теглото си. Те не се виждат и със най-силния микроскоп. Дълго време учените са смятали, че атомът е неделим. Даже самата дума „атом“, която е старогръцка, означава „неделим“. По-нататъшното развитие на науката

обаче доказва, че атомът е сложна частица. Той се състои от ядро и въртящи се около него електрони. На фиг. 1 е показан схематично строежът на един от химичните елементи — хелия. Обикалящите ядрото електрони образуват електронната обвивка на атома. Атомите на различни



Фиг. 1. Строеж на хелиевия атом (схема)

ятмните елементи имат различно количество електрони — от един (атома на водорода) до 101 (атома на менделевия). Атомното ядро заема нищожно малка част от обема на атома. Ако си представим атома във вид на кълбо с диаметър 100 м,

ядрото ще представлява една пращинка от него с диаметър около 1 мм.

Ядрата на всички атоми се състоят от протони и неутрони. Както се вижда от фиг. 1, ядрото на хелиевия атом се състои от два протона и два неутрона. Протонът представлява частица с положителен електричен товар (пълнеж, заряд). Теглото на протона е около 2000 пъти по-голямо от теглото на електрона, а товарът му е равен по големина на товара на електрона, но обратен по знак. Неутронът е електрически неутрална частица. Теглото на неутрона е приблизително равно на теглото на протона.

От сравняването на теглото на електрона с теглото на протона и неутрона следва, че почти цялата маса на атома е съсредоточена в ядрото му. По данни на съвременната физика масата е неразделно свързана с енергията: няма маса без енергия и няма енергия без маса. За това говори

и законът за взаимната връзка между масата и енергията, който е основен при енергетичните изчисления в атомната физика. Щом масата и енергията са взаимно свързани (право пропорционални една на друга), трябва да се заключи, че в ядрото е съсредоточена почти цялата вътрешно-атомна енергия. Тази енергия се отделя при ядрените реакции, които са свързани с превръщането на атомните ядра на един химичен елемент в ядра на друг елемент. При химичните реакции се преустройват само електронните обвивки на атомите, а отделената енергия представлява част от енергията на електронните обвивки, която е сравнително малка. При ядрените реакции се преобразува ядрото — главният носител на атомната енергия, а това предизвиква отделяне на извънредно много енергия. Например при избухване на един килограм тротил се отделят около 450 хиляди килограма тротил от отрицателните енергии, а в ядрата на атомите на 1 кг тротил се съдържа 100 милиона пъти повече енергия.

Понеже от съставните частици на атомното ядро само протоните имат електричен товар, ядрото на атома е наелектризирано положително. Установено е, че като цяло атомът е електрически неутрален. Следователно сборът от отрицателните товари на всички електрони в атома е равен на положителния товар на ядрото. Но понеже товарите на електрона и протона са равни по големина, следва, че всеки атом има толкова протони в ядрото, колкото електрони в обвивката.

Атомните ядра на всеки химичен елемент имат точно определен брой протони. Ако се измени броят на протоните в ядрото, изменят се всички химични и физични свойства на атома, т. е. получава се атом на друг химичен елемент. Пове-

чето от химичните елементи представляват смес от атоми, в които броят на протоните в ядрата е еднакъв, а броят на неутроните различен. Такива разновидности на един и същ химичен елемент се наричат изотопи. Например водородът има три изотопа: лек водород, тежък водород (деутерий) и свръхтежък водород (тритий), които се получават изкуствено. Всички разновидности на водорода имат в ядрото по един протон, а се различават по броя на неутроните: ядрото на лекия водород няма неутрони, ядрото на тежкия има един, а ядрото на свръхтежкия — два. Тежкият водород (деутерият) и свръхтежкият водород (тритият) се използват за заряд на водородните бомби.

Някои елементи имат повече изотопи. Например уранът има единадесет изотопа: два от тях — уран 233 и уран 235¹ — се използват за заряд на атомните бомби. Всички изотопи на даден елемент имат еднакви химични свойства, но се различават по теглото си.

Между протоните в ядрото действуват отблъсквателни сили (понеже товарите са едноименни). Би следвало да се очаква, че ядро с няколко протона трябва да се раздроби. В действителност това не става. Нещо повече, обикновено ядрата на атомите са много устойчиви и е изключително трудно да се разцепят на части. Устойчивостта на ядрата се обяснява с това, че макар между протоните да действуват отблъсквателни електрични сили, между всички частици, които влизат в състава на ядрата, действуват огромни притегателни сили — вътрешноядрени сили. Тези сили действуват само на съвсем малки разстояния (равни на размера на самите частици)

¹ Цифрата 235 означава, че в ядрото на урановия атом има 235 протона и неутрона (92 протона и 143 неутрона).

и са по-големи от отблъсквателните електрични сили. Ядрата на различните химични елементи и изотопите на един и същ елемент имат различна устойчивост. По-неустойчивите ядра на някои химични елементи могат самоволно, без външно въздействие, да се превръщат в по-устойчиви ядра на други химични елементи. Превръщането на по-малко устойчивите атомни ядра в по-устойчиви се съпровожда с изпускането на така наречените радиоактивни излъчвки, които оказват вредно действие върху човешкия организъм. Веществата, изпускащи радиоактивни излъчвки, се наричат радиоактивни, а самото излъчване — радиоактивност.

Заедно с радиоактивните излъчвки се освобождава и част от енергията на ядрата. Тази енергия се нарича атомна или ядрена.

При атомния взрив се образуват в голямо количество радиоактивни вещества. Тези вещества заразяват въздуха и местността в района на атомния взрив и по пътя на движението на взривния облак. Те заразяват и намиращите се на открито в тази местност технически средства, оръжия, хора и животни. Радиоактивните вещества може да се обработят и за използване като бойни радиоактивни вещества.

Разпадането на радиоактивните вещества е един от видовете ядрени реакции. Обаче количеството атомна енергия, която се отделя за единица време, е сравнително малко, понеже радиоактивното разпадане представлява постепенен процес. Например за един час 1 грам радий отделя енергия, достатъчна само да загрее с 1,36 градуса 100 грама вода.

Има и други видове ядрени реакции. В атомното и водородното оръжие се използват ядрени

реакции с взривен характер, при които атомната енергия се отделя почти мигновено.

В атомното оръжие се използва верижната ядрена реакция, при която се разцепват ядрата на урана или плутона, а във водородното оръжие се използва синтезната ядрена реакция, при която водородните ядра се съединяват в хелиеви ядра.

Същината на верижната ядрена реакция се заключава в следното. Установено е, че атомните ядра на някои тежки елементи (уран, плутон) се разцепват при удар с неутрон на части, които представляват радиоактивни ядра на други полекни елементи (често тях ги наричат „парчета“). При делението на урановите или плутоновите атоми се отделят два-три свободни неутрона, които в определени условия предизвикват разцепване и на други атомни ядра.

Нека за улеснение при разсъжденията да приемем, че се отделят средно два свободни неутрона. Тогава тези два неутрона предизвикват разцепване на две уранови (плутонови) ядра и в резултат се появяват четири свободни неутрона. Четирите неутрона могат да разцепят вече четири ядра и тогава ще се освободят осем неутрона и т. н.

В атомния заряд броят на неутроните, а следователно и броят на разцепените ядра расте лавинообразно с огромна скорост. Такъв вид ядрени реакции се наричат верижни.

В резултат на верижната ядрена реакция почти мигновено (за милионна част от секундата) се разцепват част от ядрата на атомния заряд и се отделя огромно количество енергия. Например при разцепването на всички атомни ядра в един килограм уран 235 (плутон) се освобождава тол-

кова енергия, колкото при едновременното избухване на 20 000 тона тротил.

За да възникне верижна ядрена реакция, количеството уранови атоми, които могат да се разцепят, трябва да бъде такова, че вероятността за улавяне на освободените при делението на ядрата неутрони от други ядра да бъде достатъчно голяма, а загубените неутрони поради излитането им извън дялящата се маса да бъдат малко. Най-малкото количество вещество, в което е възможна верижна ядрена реакция с взривен характер, се нарича критична маса. Големината на критичната маса зависи от формата на заряда, материала и конструкцията на обвивката му и от редица други фактори.

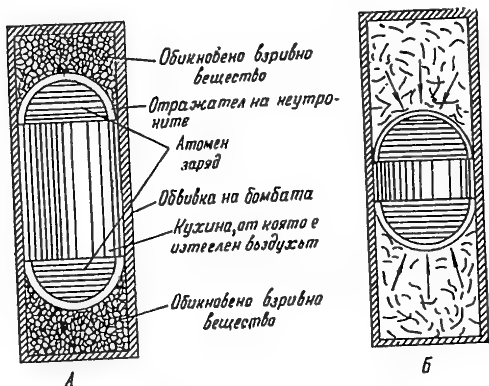
При маса на заряда, по-малка от критичната, започналата ядрена реакция бързо затихва. При маса на заряда, по-голяма от критичната, верижната ядрена реакция се развива с нарастваща бързина и завършва с взрив.

За да се стигне до атомен взрив, нужно е дялящото се вещество да се доведе от докритично в критично състояние.

До момента на взрива общият заряд в бомбата е разделен на две или повече части, всяка от която има маса, по-малка от критичната. Това изключва преждевременното избухване на всяка от тях по отделно. Схема на атомна бомба със заряд, разделен на две части, е показана на фиг. 2. За да избухне бомбата, частите на заряда трябва бързо да се съединят в едно цяло. От бързината на съединяването зависи пълното протичане на верижната реакция, а оттук и мощността на взрива. В показаната схема частите на атомния заряд се съединяват при избухването на заряд от обикновено взривно вещество. За да се осигури започване

на верижната реакция в момента на съединяването на двете части на заряда, може да бъде използван специален източник на неутрони.

Голяма роля за хода на верижната реакция играят отражателят на неутроните и обвивката на бомбата. Отражателят на неутроните връща в



Фиг. 2. Принципно схема на атомна бомба със заряд, разделен на две части:
А—до взрива; Б—в момент на сближаване частите на атомния взрив

зоната на ядрената реакция неутроните, които излитат извън заряда. Обвивката на бомбата, която е направена от плътен и огнеупорен материал, задържа отчасти разпръскването на атомния заряд, макар че самата тя много бързо се изпарява. Отражателят и обвивката повишават степента на използване на атомния заряд, а това довежда до увеличаване мощността на взрива.

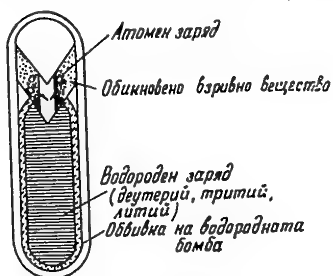
Докато атомното оръжие се основава на разцепването на тежките ядра на някои радиоактивни

елементи (уран, плутон) в резултат на верижна ядрена реакция, водородното оръжие (наричано още и термоядрено оръжие) е основано върху съединението (синтезата) на водородните ядра в хелиеви ядра.

За да може от водородните ядра да се образуват хелиеви ядра, ядрата на водорода трябва да се доближат на разстояние, приблизително равно на размера на самите ядра. При такова малко разстояние между ядрата почват да действуват мощните ядрени сили, които свързват протоните и неутроните в устойчива система, каквато представлява ядрото на хелиевия атом. При образуване ядро на хелиев атом ядрените сили извършват значителна работа, която се изразходва за увеличаване кинетичната енергия на взаимодействащите частици. Излишната енергия, която възниква поради действието на ядрените сили, се излъчва в околната среда, както излъчва енергията си изстиващо тяло. Но за да се приблизят ядрата на водородните атоми на разстояние, при което почват да действуват ядрените сили, трябва да се преодолеят отблъсквателните сили на електронната атомна обвивка, а после и отблъсквателните сили на ядрата. За да стане това, водородът се нагрява до няколко милиона градуса. При такава висока температура атомите загубват електронната си обвивка, а ядрата получават такава скорост, която е достатъчна да преодолеят електричните отблъсквателни сили и да съедини ядрата. Ядрените реакции, които протичат при такива високи температури, се наричат термоядрени реакции (оттук идва названието термоядрено оръжие). Като източник за създаване на висока температура във водородното оръжие, необходима за съединяване на водородните ядра

в хелиеви, се използва атомната бомба. Ето защо атомната бомба е неизбежен елемент на водородната бомба.

Най-добрата комбинация от вещества за термоядрен заряд (за заряда на водородната бомба) е комбинацията от изотопите на тежкия водород



Фиг. 3. Принципна схема на водородната бомба

(деутерия) и свръхтежкия водород (трития). Освен тях за термоядрено взривно вещество може да се използва в известно количество и литият¹.

При взаимодействието на тези изотопи на водорода и лития термоядрената реакция протича извънредно бързо, като се отделя голямо количество енергия. Принципна схема на водородната бомба е показана на фиг. 3.

¹ Вместо газообразна или течна смес от деутерий и тритий за заряд на водородната бомба може да се използва твърдо химично съединение във вид на литиев хидрид (LiH). В този случай тритият се получава под действието на потока от неутрони, образуван при избухването на атомната бомба.

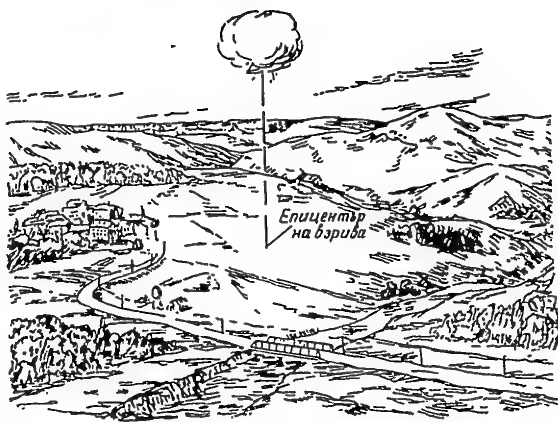
Действието на водородната бомба може да се опише по следния начин. В даден момент атомната бомба избухва и температурата се повишава до няколко десетки милиона градуса. Това създава условия ядрата на изотопите на водорода (деутерия и трития) и литиевите ядра да се съединят — водородната бомба избухва. Количеството енергия, което се отделя при образуване на 1 кг хелиеви ядра от водородни ядра, е 5—6 пъти по-голямо от енергията, която се отделя при разцепването на 1 кг уранови ядра (уран 235). Особено във водородната бомба е това, че тя няма критична маса. Поради това количеството ядрено вещество в бомбата може да бъде много голямо. Тритиливият еквивалент на водородните бомби е значително по-голям от тритиливия еквивалент на атомните бомби и се измерва с милиони тонове.

Атомната бомба може да се пръсне във въздуха, на повърхността на земята (водата) или под земята (водата). Съответно на това взривовите биват въздушни, надземни (надводни) и подземни (подводни).

Атомният взрив е въздушен, когато бомбата избухне на височина най-малко няколкостотин метра над земната (водната) повърхност. Точката от земната (водната) повърхност, над която избухва атомната бомба, се нарича епицентър на взрива (фиг. 4).

Взривът се нарича надземен (надводен), когато бомбата избухне на повърхността на земята (водата) или на няколко десетки метра над земята (водата).

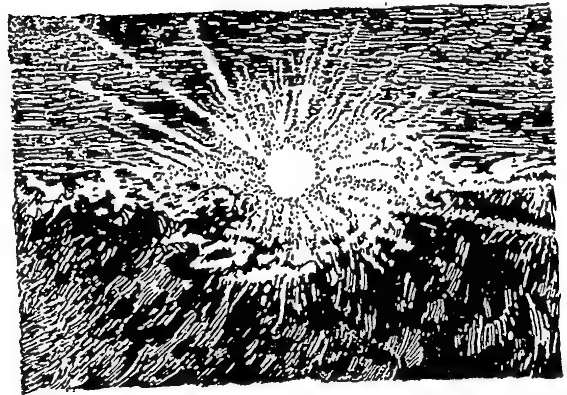
Атомният взрив е подземен (подводен), когато бомбата избухне, след като навлезе в земята (водата).



Фиг. 4. Епицентър на атомния взрив

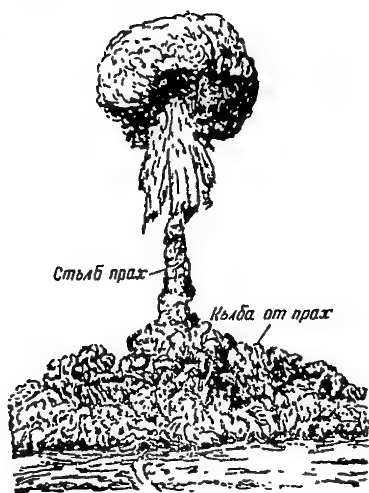
3. ВЪНШЕН ВИД НА АТОМНИЯ ВЗРИВ

В момента на въздушен атомн взрив се наблюдава ослепително ярък блясък, който се вижда на разстояние повече от 100 километра (фиг. 5). На разстояние няколко километра от епицентъра на взрива блясъкът осветява местността много по-силно от слънцето в ясен ден. Той идва от образуваното в мястото на взрива огнено кълбо, в което има високо налягане. Увеличавайки размерите си, огненото кълбо създава ударна вълна в околния въздух и бързо се издига нагоре. Както ще бъде посочено в глава III, до откъсването на ударната вълна от огненото кълбо светлинното излъчване е главната причина за бързото увеличаване на огненото кълбо.



Фиг. 5. Въздушен атомн взрив

Като достигне повърхността на земята, ударната вълна повдига кълба от прах, които се задържат във въздуха 10—30 минути. След известно време огненото кълбо избледнява и накрая преставя да свети. Целият процес на възникване и развитие на огненото кълбо трае няколко секунди. След това то изстива и се превръща в кълбовиден облак, който бързо расте и се издига нагоре. След облака от земната повърхност се издига стълб от прах, поради което атомният взрив добива характерна гъбовидна форма (фиг. 6). Облакът достига височина 10 километра и повече. С течение на времето той се разсейва от вятъра, който обикновено има различна скорост и посока на различните височини, и загубва своята характерна форма. Атомният взрив се придружава от много силен и рязък звук, който се чува на десетки километра.



Фиг. 6. Гъбовиден облак при атомния взрив

При надземен атомен взрив след блясъка се образува светеща област, която прилича на полукълбо (фиг. 7). С течение на времето светещата област бързо се увеличава. Ударната вълна, разпространявайки се по повърхността на земята, повдига кълба от прах. Известно време след взрива светещата област се откъсва от земната повърхност и бързо се издига нагоре, като се превръща в кълбовиден облак. Мощни възходящи въздушни потоци увличат след себе си огромно количество прах. Облакът и стълбът от прах представляват едно цяло и получават гъбовидна

форма — приблизително такава, както при въздушния взрив.

Външният вид на подводния атомен взрив зависи от дълбочината на навлизането на бомбата във водата. При подводен атомен взрив на малка дълбочина над водната повърхност се издига

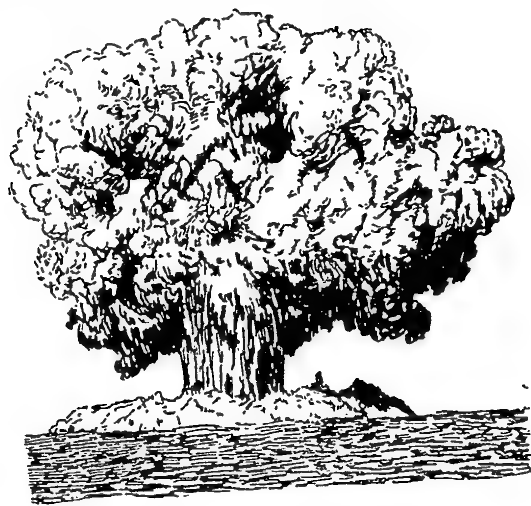


Фиг. 7. Светещо полукълбо при надземен взрив на атомна бомба

воден стълб, който достига височина повече от километър. Над водния стълб се образува облак, състоящ се главно от водни пари, който, увеличавайки размерите си, достига няколко километра в диаметър (фиг. 8). Няколко секунди след подводния взрив от стълба почва да пада вода. В основата на стълба се образува огромен облак от ситни капки. С падането на водната маса облакът се разпространява встрани и за няколко минути се издига на значителна височина. Скоростта на разпространението му

достига отначало няколко десетки метра в секунда, а след това бързо спада. По-нататъшното движение на облака встрани се прекратява. От облака пада радиоактивен дъжд.

При подводния взрив се образуват освен това обикновени вълни по повърхността на водата.



Фиг. 8. Външен вид на подводен атомен взрив

На малко разстояние от мястото на взрива височината на тези вълни може да достигне 20—30 метра. С отдалечаване от мястото на взрива височината на вълните бързо намалява. Ако подводният взрив се произведе в плитко място, на дъното се образува голяма яма. В този случай

заедно с водата във въздуха се издига и значително количество пръст.

Външният вид на подземния атомен взрив зависи от дълбочината на проникването на атомната бомба в земята. При проникване на малка дълбочина външният вид на подземния атомен взрив се отличава малко от външния вид на надземния атомен взрив. При значително проникване на бомбата в земята атомният взрив има следните особености:

- изхвърляне на голямо количество пръст на разстояние до няколко километра;
- образуване на грамадна яма. Изчислено е, че при взрив на атомна бомба с еквивалент 20 000 тона тротил на дълбочина 10—15 м от повърхността на земята се образува яма с диаметър около 250 м и дълбочина около 30 м.

4. ПОРАЗЯВАЩИ ФАКТОРИ ПРИ АТОМНИЯ ВЗРИВ

Поради отделянето на огромно количество енергия при атомния взрив температурата в малкото пространство, заемано от атомната бомба, достига милиони градуси. Тази изключително висока температура е причина за образуването на огнено кълбо, което е източник на силно светлинно излъчване.

Нажежените пари на продуктите, получени при делението на веществото на атомния заряд, невлязлата в реакция част от атомния заряд, обвивката на бомбата и нажеженият въздух, които съставляват огненото кълбо, бързо се разширяват, раздвижват околния въздух и го свиват. В резултат се образува ударна вълна.

Взривът на атомната бомба се придружава от невидимо радиоактивно излъчване, наречено

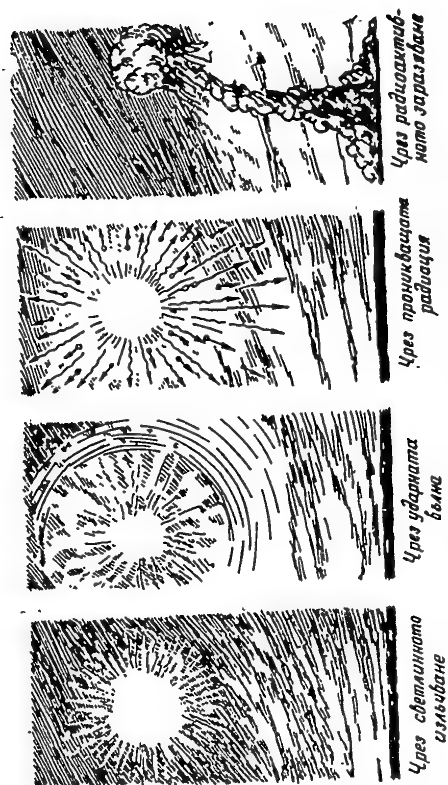
проникваща радиация. Проникващата радиация представлява поток от гама-лъчи и неутрони. Освен това в района на взрива и по пътя на движението на облака, образуван при взрива, падат радиоактивни вещества (във вид на прах), вследствие на което настъпва **радиоактивно заразяване** на местността и въздуха.

В района на взрива местността може да бъде заразена също и поради това, че под действието на неутроните някои нерадиоактивни вещества (натрий, силиций, фосфор и др.), които влизат в състава на горния почвен пласт, стават радиоактивни.

И така ударната вълна, светлинното излъчване, проникващата радиация и радиоактивното заразяване на местността са **поражаващите фактори при атомния взрив** (фиг. 9).

В зависимост от вида на взрива действуват едни или други поражаващи фактори. Например при въздушен взрив ще действуват главно въздушната ударна вълна, светлинното излъчване и проникващата радиация. Радиоактивното заразяване на местността ще бъде незначително. То ще зависи от метеорологичните условия. При дъжд и снеговалеж то ще бъде по-голямо, отколкото в ясно време. При надземен взрив ще действуват всички поражаващи фактори, но тук радиоактивното заразяване на местността е по-силно, отколкото при въздушен взрив.

При подземен и подводен взрив се създават ударни вълни съответно в почвата и водата, а може да се образуват ударни вълни и във въздуха, чието действие ще зависи от дълбочината на взрива. При значителна дълбочина действието на въздушната вълна може да се намали дотолкова, че да няма никакъв ефект.



Фиг. 9. Атомният взрив може да нанесе поражения

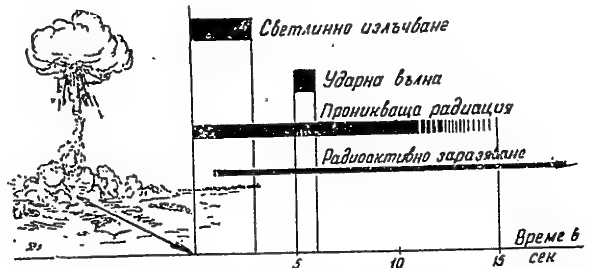
Действието на светлинното излъчване при подземния и подводния взрив, съответно върху надземни и надводни обекти, ще бъде малко ефикасно, понеже светлинното излъчване ще бъде почти напълно погълнато в първия случай от земята, а във втория — от водата. Но за това пък при подземен взрив почвата ще бъде много силно заражена с радиоактивни вещества, а при подводен взрив—водата.

5. ОСОБЕНОСТИ НА ПОРАЗЯВАЩОТО ДЕЙСТВИЕ НА АТОМНИЯ ВЗРИВ

Атомният взрив се отличава от взрива на обикновените взривни вещества по това, че е придружен с отделяне на значително по-голямо количество енергия. По мащаба на разрушенията и пораженията сред хората атомният взрив (на бомба с еквивалент 20 000 тона тротил) в град е равен на взрива на няколко хиляди фугасни самолетни бомби или артилерийски снаряди от голям калибър, хвърлени едновременно.

Както е известно, атомното оръжие с взривно действие е предназначено за поразяване на хора, за разрушаване на различни съоръжения и сгради, за унищожаване или повреждане на бойни технически средства. Поразяващите фактори — ударната вълна, светлинното излъчване, проникващата радиация и радиоактивното заразяване на местността — действуват почти едновременно, разбиха се, с различна продължителност. На фиг. 10 са показани времето на действие на ударната вълна, светлинното излъчване, проникващата радиация и радиоактивното заразяване върху обект на разстояние 2 км от мястото на взрива.

Светлинното излъчване, което се разпространява практически мигновено, действува върху обекта първите 2—3 секунди. Ударната вълна достига обекта приблизително за 5 секунди и действува около една секунда. Проникващата радиация, която също се разпространява практически мигновено, действува в продължение на първите 10—15 секунди. Радиоактивното заразяване се проявява по-продължително време.



Фиг. 10. Време на действие на поразяващите фактори при взрив на атомна бомба с еквивалент 20 000 тона тротил

На какво отдалечение от мястото на атомния взрив и на каква площ с възможно да бъдат поразени хората? При взрив на атомна бомба с еквивалент 20 000 тона тротил са възможни тежки поражения от ударната вълна в район с радиус до 800 метра от мястото на взрива на площ 2 кв. км. В район с радиус до 1600 м на площ 8 кв. км са вероятни поражения от средна степен, а в район с радиус до 2400 м на площ 18 кв. км пораженията са леки. На по-големи разстояния от 2400 м ударната вълна не нанася поражения на хората. Светлинното излъчване може да причини

по ражения на незащитени хора в район с радиус до 3200—4000 м на площ 32 кв. км. Вредното въздействие на проникващата радиация се проявява в район с радиус 2000 м. Радиоактивното заразяване на местността след въздушен атомен взрив е сравнително слабо. От горното се вижда, че на най-голямо разстояние от центъра на взрива действа върху незащитени хора светлинното излъчване. Ударната вълна поражда на по-малки разстояния, като достига в дадена точка след известно време. Проникващата радиация поражда на още по-малки разстояния от центъра на взрива.

Обаче пораждащото действие на атомния взрив значително може да се намали или да се отстрани напълно, ако има укрития и убежища, подготвени съгласно изискванията на противоатомната защита. Даже ако хората се намират в открити окопи, траншеи и ходове за съобщение пълен профил, указният калибър атомна бомба може да нанесе поражения: чрез светлинното излъчване само на 400 м, чрез проникващата радиация до 550 м, а чрез ударната вълна до 700—750 м. Когато в позициите и в районите за разположение на войските има закрити убежища (покрити окопи или участъци от траншеи), личният състав може да бъде поразен от ударната вълна само на разстояние до 400 м, а светлинното излъчване няма да му нанесе поражения. Степента на поражението от проникващата радиация зависи от дебелината на съоръженията. Защитата от радиоактивните вещества, паднали на местността след взрива, се осигурява с индивидуалните средства за противохимическа защита (противогаз, наметало, чорапи, ръкавици). При достатъчно здрави закрити убежища с покрития, които намаляват дозата на проникващата

радиация до безопасни норми, може да се осигури пълна защита от пораженията на въздушния взрив, даже и близко до епицентъра на взрива.

Следователно и срещу атомното оръжие има сигурни средства и начини за защита.

Действието на атомния взрив в градовете има своите особености.

За илюстрация на огромните разрушения и поражения сред хората при атомния взрив могат да послужат резултатите от действието на първите атомни бомби, хвърлени от американските империалисти над японските градове Хиросима и Нагазаки през август 1945 г.

Първата атомна бомба (уранова) е хвърлена на 6 август над град Хиросима. Три дена по-късно, сутринта на 9 август, била хвърлена втората атомна бомба (плутонова) над град Нагазаки.

Взривната енергия на атомните бомби, хвърлени над японските градове, се оценява на 20 000 тона тротил за всяка от тях.

Атомните бомби били хвърлени над Хиросима и Нагазаки от самолет тип Б-29 („летаща крепост“), който летял на височина около 9000 м. Взривовете и в единия, и в другия случай са станали приблизително на еднаква височина — 600 м от повърхността на земята. Били предизвикани значителни разрушения и многобройни поражения и жертви сред населението. Хората загинали от прякото въздействие на ударната вълна, от отломците, отхвъркнали от разрушените сгради и съоръжения, и от действието на светлинното излъчване и проникващата радиация.

При взрива на атомните бомби над японските градове прякото въздействие на ударната вълна не е главната причина за смъртта и нараняването

на хората. Главна роля е изиграло косвеното въздействие на ударната вълна. Косвеното въздействие на ударната вълна е нанесло поражение на незащитени хора на значително разстояние. Отбелязани са случаи на нараняване от отломъци на разстояние до 3200 м от епицентъра на взрива в Хирошима и до 3700 м в Нагазаки, макар тежки наранявания да е имало само на разстояние до 2000 м.

Броят на жертвите в Хирошима и Нагазаки от въздушната ударна вълна и обгарянето (от прякото въздействие на светлинното излъчване и пожарите) възлиза на 85—95% от общия брой на жертвите. Останалите са умрели от въздействието на проникващата радиация.

Според някои чуждестранни данни около 50% от смъртните случаи се дължат на обгаряне под непосредственото въздействие на светлинното излъчване и на обгаряне от пламъците на горящите сгради и съоръжения. Непосредственото въздействие на светлинното излъчване върху незащитените хора при избухването на атомните бомби над градовете Хирошима и Нагазаки се е изразило преди всичко в появата на обгарянния от различни степени. При различно отдалечение на хората от мястото на взрива степента на обгарянето е била различна. Силни обгарянния (III степен) по откритите части на тялото получили хората, отдалечени до 1500 м от мястото на взрива, по-слаби обгарянния (II степен) — отдалечените до 2000 м и леки обгарянния (I степен) — отдалечените до 4000 м. Топлината се усещала на разстояние над 9000 м.

Степента на обгарянето на откритите части на тялото зависела от характера, цвета, дебелината и плътността на облеклото. Под непосредственото въздействие на светлинното излъчване и в двата

града избухнали многобройни пожари. Много хора били обгорени от пламъците, особено в Хирошима, където улиците били тесни, имало много водни канали и било трудно да се излезе от горящите квартали.

Като поразяващ фактор проникващата радиация не е имала първостепенно значение в сравнение с другите поразяващи фактори при атомния взрив. Броят на хората в Хирошима и Нагазаки, умрели вследствие въздействието на проникващата радиация, е бил 5—15% от общия брой на жертвите. В резултат на действието на проникващата радиация хората заболели в различна степен от лъчева болест.

Предизвиканите от атомния взрив разрушения в градовете Хирошима и Нагазаки показват, че степента на повреждане и устойчивостта на сградите зависят от типа и здравината на конструкцията, размерите на постройката, строителните материали, разстоянието до мястото на взрива и от други фактори.

В Хирошима едноетажни бетонни сгради, главно заводски постройки, получили силни повреди на разстояние до 1600 м от епицентъра на взрива. Многоетажни и промишлени сгради с железни скелети били напълно разрушени на разстояние до 700 м, а на разстояние до 1500 м от епицентъра на взрива такива сгради получили сериозни повреди. В Нагазаки много промишлени предприятия се помещавали в сгради от хангарен тип. Покривите и облицовката на тези сгради били направени от вълнообразно желязо или от азбестов цимент. Характерът на разрушенията бил твърде различен. На близки разстояния от епицентъра на взрива тези съоръжения били преобърнати, а на далечни разстояния в много случаи сградите били

само наклонени в посока на разпространението на ударната вълна. На разстояние до 3000 м от епицентъра на взрива покривите и облицовките на сградите от този тип били съборени.

Металните скелети на масивните сгради били силно деформирани. Тухлените сгради били разрушени на по-големи разстояния, отколкото сградите с желязна или железобетонна конструкция. Например многоетажни немасивни тухлени сгради били напълно разрушени на разстояние до 1600 м от епицентъра на взрива.

Слаба устойчивост показали обикновените жилища с лека и дървена конструкция. Тези сгради били разрушени на разстояние до 4000 м, а сериозни повреди били отбелязани до 4800 м.

Характерно е, че в промишлените сгради много комини останали невредими. Устойчивостта на комините се обяснява с малките размери на напрежения им сечения и с цилиндричната им форма. Ударната вълна е обтичала бързо комина и е създавала сравнително равномерно налягане върху цялата му външна повърхност.

В Хиросима и Нагазаки добра устойчивост показали сградите с антисейсмична конструкция. Такива сгради не са получили силни повреди даже и на разстояние около 300 м от епицентъра на взрива.

Освен гражданските и промишлените сгради на въздействието на атомните взривове били подложени мостове и други съоръжения. Например в Хиросима в зона с радиус 3400 м от епицентъра на атомния взрив е имало 49 моста. Повечето от тези мостове били метални или железобетонни с дължина от 61 до 152 м. При взрива на атомната бомба от действието на ударната вълна били унищожени само два моста—единият метален,

а другият дървен. Десет дървени моста изгорели от пожарите, предизвикани от светлинното излъчване. Останалите метални и железобетонни мостове почти не пострадали от взрива. В Нагазаки в зона с радиус 3200 м от епицентъра на взрива били повредени 35 малки и сравнително леки мостове. Повредите обикновено били незначителни. Тези незначителни повреди на мостовете в Хиросима и Нагазаки се обясняват с това, че при въздушен атомен взрив на малко разстояние от епицентъра взривният удар върху мостовете е действувал не от страни, а главно отгоре. А мостовете, както е известно, се пресмятат за голям вертикален товар. В резултат на атомните взривове надземните градски съоръжения в Хиросима и Нагазаки било силно повредени на разстояние до 3000 м от епицентъра на взрива. Електрическите, телефонните и телеграфните въздушни линии били разрушени на разстояние до 1600 м от епицентъра на взрива.

На разстояние до 1000 м от епицентъра на взрива били повредени незащитените трамваи, автобуси и автомобили. Поради разрушаването на сградите били повредени водопроводните тръби и в цялата водопроводна мрежа налягането на водата спаднало. Освен това близо до епицентъра на взрива били повредени на места подземните водопроводни магистрали поради разместване на почвата. Всичко това станало причина двата града да останат без вода още в първите минути след взрива. Разрушаването на водопроводната мрежа затруднило крайно борбата с пожарите и затова изгорели много сгради.

При взрива на атомната бомба в Нагазаки хълмовете изиграли ролята на преграда срещу ударната вълна. Например в Нагазаки благодарение

на преграждащото действие на хълмовете тухлените сгради, построени на обратните склонове на хълмовете, пострадали по-слабо — изкъртена била на места само мазилката и били счупени стъклата на прозорците.

На същото отдалечение в друга част на града, където нямало хълмове, разрушенията били много по-значителни — изкъртили се и се разтрошили всички рамки на прозорците и вратите, изпадала по-голямата част от мазилката, в тухлените зидове се образували пукнатини.

Под действието на светлинното излъчване в градовете Хирошима и Нагазакис възникнали многобройни огнища на пожари. Част от пожарите обаче са били последица на косвени причини. Например имало е случаи на пожари, причинени от повредени газови печки, късо съединение на електрически проводници и т. н.

Пожарите в Хирошима били толкова силни, че около 20 минути след избухването на атомната бомба градът бил обхванат от пламъци. Пожарите се усилвали от силния вятър, който духал към горящата част на града от всички страни. Този вятър се образувал от издигането на нагорещения въздух над районите, обхванати от пожарите. Пожарите в градовете Хирошима и Нагазакис се задържали дълго време. Дезорганизираните пожарни служби не били в състояние да ги потушат. В резултат били унищожени почти всички дървени постройки в зона с радиус повече от 3 км от епицентъра на взрива. От пожарите пострадали сериозно и други постройки и съоръжения.

Посочените в този раздел примери за действието на атомното оръжие показват, че този вид оръжие има значително по-голяма разрушителна сила от всички други обикновени оръжия.

Обаче при оценката на разрушителното действие на атомните бомби трябва да се вземе предвид, че много жертви и разрушения в градовете Хирошима и Нагазакис се дължат на пълната внезапност на атомното нападение, на липсата на организирана противоатомна защита, на големия брой дървени здания и относително слаби (с леки конструкции) тухлени и железобетонни сгради, както и на липсата на организирана борба с възникналите пожари. Броят на жертвите и мащабите на разрушенията щяха да бъдат значително по-малки, ако тези градове са имали подготвена мрежа от убежища за населението, добре организирана служба за противопожарна охрана и добра противовъздушна отбрана.

От казаното за поразяващото действие на атомния взрив става ясно, че светлинното излъчване е един от главните поразяващи фактори. То може да причини големи поражения на незащитени хора и различни видове съоръжения. Поради това при организирането на противоатомната защита трябва да се обърща голямо внимание на светлинното излъчване. Наред с другите поразяващи фактори при атомния взрив целесъобразно е то да се разгледа отделно. Атомното оръжие трябва да се познава добре, за да се действва умело в обстановката на атомно нападение и добре да се усвоят правилата и начините за противоатомна защита.

Преди обаче да преминем към разглеждане на светлинното излъчване като един от поразяващите фактори при атомния взрив, трябва да се запознаем по-отблизо със светлината, т. е. каква е нейната същина и какви са физичните основи на светлинното излъчване. Тези сведения са необходими за правилно разбиране и преценка на фактическия материал, изложен в следващите глави.

ГЛАВА II СЪЩНОСТ НА СВЕТЛИНАТА

За всяко явление е много важно да се знае физичната му същност, за да може то правилно да се използва, или да се намерят методи за предпазване от действието му, за да се предвиди бъдещето, свързано с него.

Същото може да се каже и за светлинното излъчване при атомния взрив. Днес атомното оръжие се развива много по-бързо от всяко друго оръжие. Поради това могат да се появят нови типове атомно оръжие и нови начини за прилагането му, които засега е трудно да се отгатнат и разучат. Обаче трябва да бъдем готови за водене на бойни действия при всяка обстановка, като държим сметка за всички особености на атомното оръжие в новите му форми. А това може да се постигне, когато напълно е ясна физичната същност на поразяващите фактори. Те обаче се определят от обективните природни закони, които не зависят от човешката воля, и поради това винаги ще действуват в такава насока, която може да се предвиди. Оpozнаването на физичната същност на светлинното излъчване ще ни помогне при организирането на ефикасна защита срещу този поразяващ фактор.

1. КОРПУСКУЛАРНА ТЕОРИЯ ЗА СВЕТЛИНАТА

Отговорът на въпроса за същността на светлината е бил получен след продължителни на-

блюдения над особеностите на светлинните явления. При това, както обикновено се развиват нашите знания, представата за същността на светлината се е изменяла с натрупването на нови сведения и нови данни.

Оптиката или учението за светлината е възникнала първоначално като опит да се отговори на въпроса, защо човек може да вижда околните предмети. Великите древногръцки математици Питагор, Евклид и Птоломей са предполагали, че виждането до известна степен е подобно на пипането. По мнението на тези учени от очите на човека към наблюдавания предмет излизат лъчи, подобни на пипалца.

На основата на учението за зрителните лъчи, излизащи от очите, Питагор, Евклид и Птоломей създали теорията за отражението на светлината от плоски и сферични огледала и сложили началото на геометричната оптика, която не е изгубила значение и в днешни дни.

И досега е запазена легендата, че Архимед бил запалил неприятелския флот с помощта на система от вдлъбнати огледала, чрез които той събирал слънчевите лъчи и ги насочвал към римските кораби. Изчисленията показват, че практически това може да стане само на разстояния, непревишаващи размерите на вдлъбнатото огледало повече от няколко десетки пъти.

Други учени, като Демокрит и Аристотел, били противници на учението за зрителните лъчи. Те считали, че зрението се дължи на попадане на частици (атоми), излизащи от светещото тяло върху повърхността на очите. Други тела стават видими, понеже поглъщат светлината или изменят посоката на разпространението ѝ.

Аристотел казвал, че „ако виждането зависи от светлината, която излиза от очите като от лампа, то защо не виждаме в тъмно? Да се предполага, че светлината угасва, когато след излизането си от очите попада в тъмно, е безсмислица“.

По такъв начин думата „светлина“ започнала да изразява явление, ставащо вън от нас, което, като въздействува на очите, предизвиква зрително усещане.

Основно свойство на светлината учените от древна Гърция считали праволинейното ѝ разпространение в еднородна среда — например във въздуха или водата.

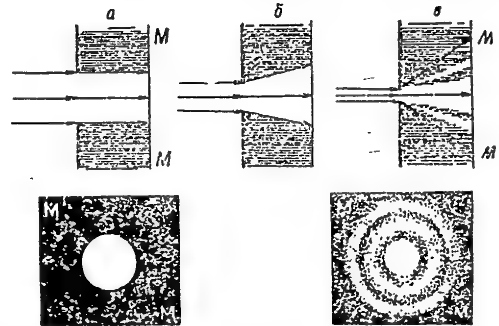
С явления, потвърждаващи праволинейното разпространение на светлината, се срещаме много често. Например ако в слънчев ден се намираме в стая, чийто прозорец е затворен с капак, в който има цепнатина, ще видим тясно снопче светлина, идващо от цепнатината. Това особено ясно личи, ако стаята е напращена или задимена. Резките сенки от постройките и дърветата в слънчев ден са също доказателство за праволинейното разпространение на светлината.

Разпространението на светлината по права линия естествено навежда на мисълта, че светлината представлява съвсем тесен поток от частици (корпускули), които излитат от източника и се движат праволинейно във всички посоки (корпускуларна теория.)

Обаче още в XVII век било забелязано отстъпление от праволинейното разпространение на светлината. Нанстина това не е трудно да се види, ако се пропусне светлина през отвор с много малки размери (фиг. 11).

Ако отворът има размери, не по-малки от около един милиметър, границите на светлото петно върху

екрана MM , получено от светлината, преминала през отвора, се очертават по посока на падащото върху отвора снопче светлина (фиг. 11, а). Тук разпространението на светлината е праволинейно. Ако обаче почием да намаляваме отвора, то заедно с това границите на светлото петно ще стават



Фиг. 11. С намаляване на отвора границите на осветената площ се отклоняват на все по-голям ъгъл от посоката на падащото върху отвора снопче светлина. При много малък отвор се виждат редуващи се светли и тъмни кръгове

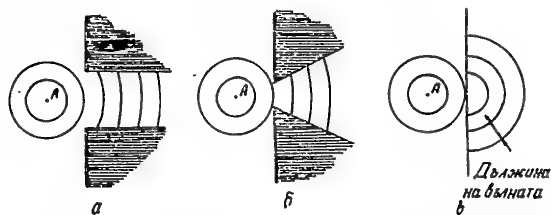
все по-разлети (границите на сянката ще се отклоняват от посоката на падащото снопче светлина). Светлината и сянката ще дават върху екрана MM ред последователни кръгове около централното снопче светлина. Разширението на осветяваната площ ще бъде толкова по-голямо, колкото по-малки са размерите на отвора (фиг. 11, б и в).

Явлението закривяване на светлината зад границите на геометричната сянка е получило названието **дифракция на светлината**. Думата „ди-

фракция, означава раздробяване на основния сноп на светлината на редица снопчета, които се разтварят в по-широк поток.

Явлението дифракция се наблюдава лесно при вълните по повърхността на водата.

Да допуснем, че в точките *A* на фиг. 12 се намира източник на вълни, например трептяща



Фиг. 12. Със стесняването на отвора все повече се проявява дифракцията — закривяване на вълната зад краищата на пластинките

пластинка. Да поставим на пътя на разпространението на вълните три последователни прегради с отвори, имащи различна ширина. На фиг. 12, *a* е показано разпространението на вълните след отвор с ширина, надминаваща няколко пъти дължината на вълната (разстоянието между два съседни гребена или долове на вълните е означено с дъги). В този случай закривяването на вълната зад краищата на преградите (навлизането на вълната в зоната, означена на фигура 12, *a* с гъсти успоредни линии) е незначително.

На фиг. 12, *б* е показано разпространението на вълните при ширина на отвора, малко по-голяма от дължината на вълната. Тук закривяването на вълната зад краищата на преградите е

по-голямо, отколкото в предния случай. Ако широчината на отвора е равна или по-малка от дължината на вълната (фиг. 12, *в*), зад преградата се получават полукръгли вълни, които се разтварят във всички посоки зад отвора като от център (нов източник на вълни).

Следователно дифракция се получава само ако широчината на отвора е сравнима с дължината на вълната.

Дифракцията може да се наблюдава и при звуковите вълни. Въз основа на наблюденията си върху дифракцията на звуковите вълни и вълните по повърхността на водата холандският физик и математик от XVII век Х. Хюйгенс предложил вълновата теория за светлината. Хюйгенс считал, че светлината представлява разпространение на вълни в особена гъвкава среда — светлинен етер, — който запълва цялото световно пространство. В своя „Трактат за светлината“, излязъл в 1690 г., той пише, че „светлината се разпространява както звукът в сферични повърхности и на вълни; аз наричам тези повърхности вълни поради сходството им с вълните, които се наблюдават по повърхността на вода, в която е хвърлен камък“.

Щом се приемало, че етерът запълва цялото пространство между небесните тела и въпреки това не пречи на движението им, естествено било той да бъде считан за нещо, наподобяващо някакъв много разреден газ. Характерно е да се отбележи, че последователен поддръжник на вълновата теория за светлината бил известният руски учен М. В. Ломоносов, който се опитал да свърже светлинните трептеливи движения с движенията на частиците на веществото.

В 1753 г. Ломоносов съобщил в Академията на науките за своето намерение да извърши опити с

трептящи струни в празно пространство, за да провери не се ли съпровождат трепеливите движения на струните с отделяне на светлина. Въпреки че резултатът бил отрицателен, опитите представляват голям исторически интерес като първо търсене на пряко доказателство за вълновата теория за светлината. При това трябва да се отбележи, че от съвременна гледна точка опитът на Ломоносов не е безсмислица. Ако струната е била заредена с електрически заряд, то при трептенията ѝ би се забелязало излъчване на дълги електромагнитни вълни.

По такъв начин към края на XVII век възникнали две теории за светлината — корпускуларна теория, според която светлината представлява поток от праволинейно летящи частици, изпускани от източника на светлината, и вълнова теория, според която светлината представлява разпространение на вълни в особена гъвкава среда — светлинен етер, — запълваща световното пространство.

Въпреки че теорията на Хюйгенс установява правилно вълновото естество на светлината, тя има и съществени недостатъци. Допускането, на светлинен етер в световното пространство е най-големият недостатък на вълновата теория за светлината. Освен това Хюйгенсовата вълнова теория не може да обясни праволинейното разпространение на светлината. Като се вземат предвид тези недостатъци, става ясно защо вълновата теория не могла да удържи здраво своите позиции пред корпускуларната теория.

Творец и защитник на корпускуларната теория е прието да се счита най-големият английски физик и математик И. Нютон, макар че в своята знаменита книга „Оптика“ той се е ползвал както от

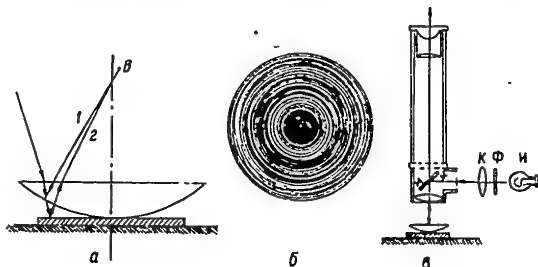
корпускуларната, така и от вълновата представа за светлината. Главно доказателство в полза на корпускуларната теория Нютон считал праволинейното разпространение на светлината. Позовавайки се на това свойство на светлината, той отхвърля съществуването на особена среда — светлинен етер — в междупланетното пространство.

В действителност планетите се движат съвсем безпрепятствено, без да срещат никакво съпротивление или триене в заобикалящото ги пространство, и следователно между планетите и слънцето няма веществена среда, която според Хюйгенсовата теория е необходима за разпространение на светлинните вълни. Нютон казвал, че както в съд, от който е изтеглен въздухът, звукът престава да съществува, така и механичните трептения на небесните светили не могат да се превърнат във вълни, разпространяващи се в световното пространство.

Заедно с това Нютон виждал трудностите, които възникват при опитите да се обясни с корпускуларната теория например явлениято дифракция на светлината. Ако все пак явлениято дифракция на светлината Нютон се стараел да изтъква с отблъсващото и притегателното действие на веществото върху светлината, той не успял да обясни явлениято, което открил сам.

Веднаж Нютон поставил обектив от астрономически рефлексор с малка изпъкналост върху стъклена плочка и насочил към тях снопче бяла светлина (фиг. 13,а). Когато погледнал обектива и плочката откъм посоката на отразената светлина, видял, че около допирната точка на обектива с плочката се появили редица концентрични окръжности с цветовете на дъгата. Вместо

с бяла светлина Нютон осветил обектива и плочката със сноп червени лъчи, получени от разлагането на слънчевата светлина през призма. Тогава той открил още по-удивителна картина: около допирната точка на обектива с плочката (тъмно място) се появили правилни редуващи се червени и тъмни окръжности (фиг. 13,б). Тези окръж-



Фиг. 13. Схеми за положението на лещите и приборите за появяване на Нютоновите пръстени:

а — път на лъча в лещата; б — Нютонови пръстени; в — схема на микроскопа за наблюдаване на Нютоновите пръстени; И — източник на светлина; Ф — филтър; К — кондензатор; ММ — плочка

ности били наречени Нютонови пръстени. Нютоновите пръстени може лесно да се видят в уреда, показан на фиг. 13,в. На статива на микроскоп с малко увеличение е поставена стъклена плочка, а върху нея — леща с малка изпъкналост (например стъкло за очила). Наблюдава се през микроскопа по посока, перпендикулярна на стъклената плочка. За да може осветяващите плочката и лещата лъчи да падат също перпендикулярно на плочката, светлината, идваща от източника И, се оставя да се отрази от стъклената пластинка ММ,

поставена под ъгъл 45° към оста на микроскопа. Пластинката ММ е полупрозрачна и през нея минава напълно достатъчно светлина, така че пръстените се наблюдават добре. За усилване на осветлението може да се използва събирателна леща (кондензатор), а за източник на светлина — обикновена електрическа крушка с цветен филтър, който пропуска например само червените лъчи.

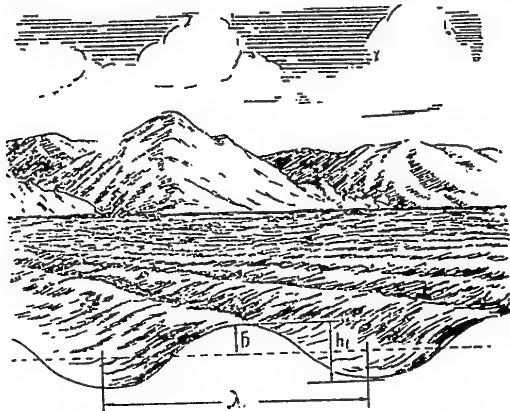
Нютон забелязал, че ако се махне стъклената плочка и лещата се постави на повърхност, която не отразява светлината, пръстените изчезват. Той установил също, че необходимо условие за появяване на пръстените е тънкият въздушен просвет между лещата и стъклената плочка.

Изхождайки от корпускуларната теория, Нютон не можал да обясни правилно произхода на пръстените. Правилно обяснение на това явление било дадено едва в началото на XIX век. Оказало се, че произходът на пръстените може да се разбере само ако се предположи, че светлината се разпространява вълнообразно.

За да си обясним произхода на Нютоновите пръстени, да разгледаме отначало вълните по повърхността на водата (фиг. 14), образувани например от вятъра. Те представляват редуващи се гребени и впадини, които се разпространяват („бягат“) по повърхността на водата в посока на вятъра. В зависимост от силата на вятъра вълните се отличават една от друга по височината h (разстоянието от дъното на впадината до върха на гребена) и дължината на вълната λ (разстоянието между съседни гребени или впадини). Обикновено вълната се характеризира не с височината h , а с величина, равна на половината височина $B = \frac{h}{2}$, която се нарича амплитуда на въл-

ната. Колкото е по-силен вятърът, толкова са по-големи височината (амплитудата) и дължината на вълната.

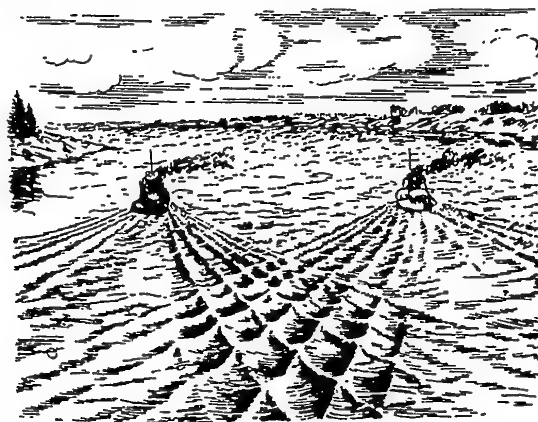
Нека си представим, че в една пълноводна река плават успоредно два катера и всеки от тях създава вълни (фиг. 15) с еднаква дължина.



Фиг. 14. Вълни по повърхността на водата :
 λ — дължина на вълната, h — височина на вълната, B — амплитуда

Какво става при срещането на вълните? Оказва се, че се предизвиква доста интересно явление. Там, където гребенът на едната вълна съвпада с гребена на другата вълна или пък впадината на едната вълна съвпада с впадината на другата, височината на вълната се увеличава, а там, където гребенът на едната вълна съвпада с впадината на другата, се получава пълно затихване, като че ли не е имало вълни. По такъв начин на едно място

вълните се усилват помежду си, а на друго се обезсилват. Такова явление на усилване или обезсилване на вълните при наслагването (събирането) им се нарича **интерференция на вълните**. Явлението интерференция, както и явлението дифракция, се среща при всички вълни неза-



Фиг. 15. Взаимодействие (интерференция) на вълните по повърхността на водата. Подобно взаимодействие на вълните използвали физиците за обясняване на Нютоновите пръстени и на всички други явления, при които светлинните лъчи се обезсилват или усилват помежду си

висимо от тяхното естество — независимо от това, дали са вълни по повърхността на течности или са звукови вълни, радиовълни или светлинни вълни.

Нютоновите пръстени са именно проява на интерференцията на светлинните вълни. Ще пояс-

ним това по-подробно. Нека лъч от червена светлина да пада върху лещата на фиг. 13,а. Част от светлината се отразява от повърхността на лещата (на фигурата тя не е показана, понеже не взема участие в образуването на Нютоновите пръстени), а останалата част прониква в лещата. Навлизайки навътре, тази част от светлината достига до изпъкналата повърхност на лещата и тук се раздвоява: част от нея се отразява от изпъкналата повърхност на лещата (лъч 1), а другата част излиза навън, преминава въздушния просвет между лещата и стъклената плочка, отразява се от плочката (лъч 2) и влиза обратно в лещата. Двата лъча 1 и 2 излизат от лещата и се срещат в точка В. Ако просветът между лещата и плочката е такъв, че разликата между пътищата на лъчите 1 и 2 е равна на две, четири, шест... , т. е. на четно число светлинни полуълни, то в точка В те се събират (съвпадат „гребените“ или „впадините“ на две вълни) и се получава светло петно — лъчите се усилят един друг. Ако просветът между лещата и плочката е такъв, че разликата между пътищата на лъчите 1 и 2 е равна на едно, три, пет... , т. е. на нечетно число светлинни полуълни, то в точка В лъчите ще се „угасят“ взаимно („гребенът“ съвпада с „впадината“) и ще се получи тъмно петно — лъчите взаимно се обезсилват.

Местата с еднаква дебелина на въздушния просвет, които съответствуват на еднакво закъснение на светлинните вълни, имат формата на окръжност. По тези окръжности отразената светлина има еднаква сила (интензитет), т. е. появяват се светли или тъмни окръжности. В това се състои физическата същност на Нютоновите пръстени.

Явлението интерференция може да се наблюдава дори без всякакви прибори, когато светлината се отразява от тънък пласт масло, петрол или газ за горене, разлети върху вода. В този случай също се виждат редуващи се тъмни и цветни ивици.

И така Нютоновите пръстени се дължат на интерференцията на светлината, която може да се обясни само ако се приеме, че светлината е особен вид вълни. Тъй като Нютон си представял светлината като поток от частици, той не можал да обясни правилно появяването на цветни окръжности в своя опит с лещата.

Разбира се, светлинните и водните вълни не са едно и също нещо. Поддръжниците на вълновата теория от времето на Нютон, както беше отбелязано по-горе, бъркали именно в това, че оприличавали светлинните вълни на вълни, които се разпространяват в гъвкава среда — етер, — подобна на вълните по повърхността на водата. По тази причина те не могли да отстоят своето становище, когато се появили нови опитни данни. Същевременно авторитетът на Нютон бил толкова голям, че до началото на XIX век в науката напълно господствувала корпускуларната теория за светлината.

2. ПОЕЛДА НА ВЪЛНОВАТА ТЕОРИЯ

Първата половина на XIX век представлява нов период в развитието на физиката. Светлината, топлината, а след това електричеството и магнетизма учените започнали да разглеждат като форми на движението на материята.

В областта на учението за светлината началото на решителната борба против Нютоновата теория е свързано с имената на английския физик Томас

Юнг и френския физик Огюст Френел. Дотогава явлениято интерференция било известно само за вълните по повърхността на водата и звуковите вълни. Въз основа на вълновата представа за светлината Юнг и Френел за първи път обяснили точно явленията дифракция и интерференция на светлината и показали това с примери.

Било установено, че на лъчи с различни цветове съответствуват приблизително показаните в долната таблица интервали от дължини на вълните, изразени в микрони¹.

Цвят на светлината	Приблизителни интервали от дължини на вълните в микрони
червен	0,76—0,63
оранжев	0,63—0,60
жълт	0,60—0,57
зелен	0,57—0,50
синьозелен	0,50—0,45
син	0,45—0,43
виолетов	0,43—0,40

В областта на дифракцията и интерференцията на светлината вълновата теория напълно доказала несъстоятелността на Нютоновата корпускуларна теория.

Френел не само обяснил всички наблюдавани явления на дифракция и интерференция на светлината, но въз основа на вълновата теория и явлениято интерференция обяснил праволинейното разпространение на светлината.

Най-големият недостатък на вълновата теория на Юнг и Френел е този, че тя допуска съществуването на гъвкав етер за разлика от предишните възгледи за етера като течно или газообразно

тяло. Естествено такова допускане е погрешно, защото как могат през твърдия етер да се движат небесните тела. Това била механистична теория за светлината. Обаче въпреки този недостатък (предвид на несъмнените ѝ предимства в сравнение с корпускуларната теория, която разглежда светлината като поток от частици) към средата на XIX век вълновата теория получила всеобщо признание.

3. ЕЛЕКТРОМАГНИТНА ТЕОРИЯ ЗА СВЕТИНАТА

И така вълновата теория за светлината побеждава в началото на XIX век корпускуларната теория на Нютон с безупречната си количествена и качествена точност на своите твърдения. Но колко здрава е била тази победа?

Да си спомним, че главният довод на Нютон против вълновата теория за светлината беше липсата на механична среда — етер — в междупланетното пространство.

Отстраниха ли този довод Юнг и Френел?

Разбира се, не. За тях именно вълновите свойства на светлината бяха доказателство за съществуването на етера. В продължение на целия XIX век физиците се стремели да намерят пряко доказателство за съществуването на етера. Но тези опити обаче не довели до нищо.

Следователно или няма етер, или той притежава съвършено особени, немеханични свойства.

Но ето че вълновата теория за светлината получила изведнаж неочаквана поддръжка в областта на електричните и магнитните явления. В шестдесетте години на миналия век известният английски физик Д. Максвел създаде нова теория

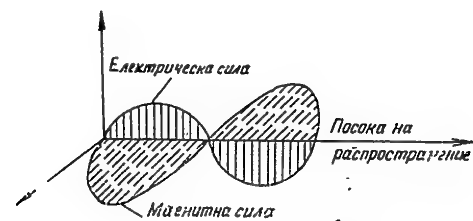
¹ 1 микрон (мк) е равен на 0,001 мм.

за електромагнитните явления. Предишните теории за електромагнитните явления приемали, че електричните и магнитните полета се разпространяват мигновено. Най-важният извод от новата теория на Максвел се състои в това, че електричните и магнитните полета се разпространяват с крайна скорост във вид на електромагнитни вълни. В електромагнитните вълни има едновременно електрично поле и магнитно поле.

За естеството на електромагнитните вълни се добива най-вярна представа, като се разгледа образуването на радиовълни от антената на всяка предавателна станция. В проводника на антената възникват трептеливи движения на електрични товари с честота, определяна от генераторната уредба. От физиката е известно, че ако електричните товари са неподвижни, съществува само електрично поле. Ако електричните товари започнат да се движат, това означава, че се е появил електричен ток, а заедно с него възниква и магнитно поле. В този случай електричното и магнитното поле са свързани помежду си по известен начин. Обаче връзката между електричното и магнитното поле не се изчерпва само с това. Съществува и друга тясна връзка между електричните и магнитните полета, ако тези полета са променливи: всяко изменение на електричното поле предизвиква възникване на магнитно поле и обратно, всяко изменение на магнитното поле предизвиква възникване на електрично поле. Върху възникването на електрично поле при всяко изменение на магнитното поле се основава известното явление електромагнитна индукция¹. По-

¹ Електромагнитната индукция се заключава в това, че при изменение на магнитното поле възниква електрично поле, което действа в околните проводници като електродвижеща сила.

сочената взаимна връзка между електричното и магнитното поле играе толкова по-голяма роля, колкото по-бързо се изменят тези полета. Такива свързани помежду си променливи електрични и магнитни полета се наричат електромагнитно поле или електромагнитна вълна. Тъй като в антената



Фиг. 16. Електромагнитна вълна

електричните товари се движат ускорено, то около проводника на антената трябва да съществува изменящо се електрично поле.

Това изменящо се електрично поле създава магнитно поле. Така възниква електромагнитна вълна, която се разпространява все по-далече от антената. Следователно електромагнитната вълна се състои от променливо електрично поле и променливо магнитно поле, свързани помежду си, при което съществуването на едното поле зависи от другото.

Двете полета се менят перпендикулярно едно на друго и перпендикулярно на посоката на разпространението на вълната (фиг. 16).

Скоростта на разпространението на полетата или на електромагнитната вълна в празно про-

странство е изчислена. Тя е напълно определена — 300 000 км/сек.

Във времето на Максвел скоростта на разпространението на светлината в празно пространство била вече опитно измерена. Тя се оказала също 300 000 км/сек. Получило се удивително съвпадение на скоростта на разпространението на светлината със скоростта на разпространението на електромагнитните вълни в празно пространство. Еднаквите скорости дали основание на Максвел да направи в 1864 г. заключението, че светлината е електромагнитни вълни. Електромагнитните вълни, предсказани теоретически от Максвел, били получени опитно и изследвани подробно от знаменития физик Хенрих Херц в 1888 г. Те послужили за основа на радиото, изобретено от великия руски физик А. С. Попов в 1895 г.

При своите опити Херц не само получил електромагнитни вълни, но и възпроизвел с тези вълни всички явления, присъщи на светлинните вълни. Както светлината електромагнитните вълни образуват „сенки“ зад добре отразяващи метални предмети, подлагат се на отражение и пречупване и се подчиняват на явленията дифракция и интерференция.

Грамаден успех в изследването на електромагнитните вълни достига известният руски физик П. Н. Лебедев, който в 1895 г. получава посредством вибратори милиметрови вълни (с дължина 6 мм). Тези по-къси в сравнение с получените от Херц вълни, както той сам писал, „били по-близко до по-дългите вълни на топлинния спектър (т. е. до инфрачервените), отколкото до електричните вълни, които първоначално използвал Херц“. С тези вълни П. Н. Лебедев получил всички „оптически“ явления — интер-

ференция, отражение, пречупване и даже двойно пречупване в серни кристали.

Опитите на Херц, доказващи съществуването на електромагнитните вълни, които се разпространяват със скоростта на светлината, послужили като силен довод в полза на електромагнитната теория за светлината. Явленията, получени при електромагнитните вълни, се оказали аналогични на явленията, получени при светлината, и с това окончателно била установена електромагнитната същина на светлината, понеже разпространението на електромагнитните вълни изобщо не изисква какъвто и да е етер, понеже тези вълни не са механични.

4. СКАЛА НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИТЕ ВЪЛНИ

Краят на XIX век бива ознаменуван с бележито откритие, направено в 1895 година от немския физик Рьонтген. Той открива лъчи, чието естество още дълго време останало неясно, поради което те биват наречени хикс-лъчи. Сега тези лъчи се наричат рентгенови лъчи.

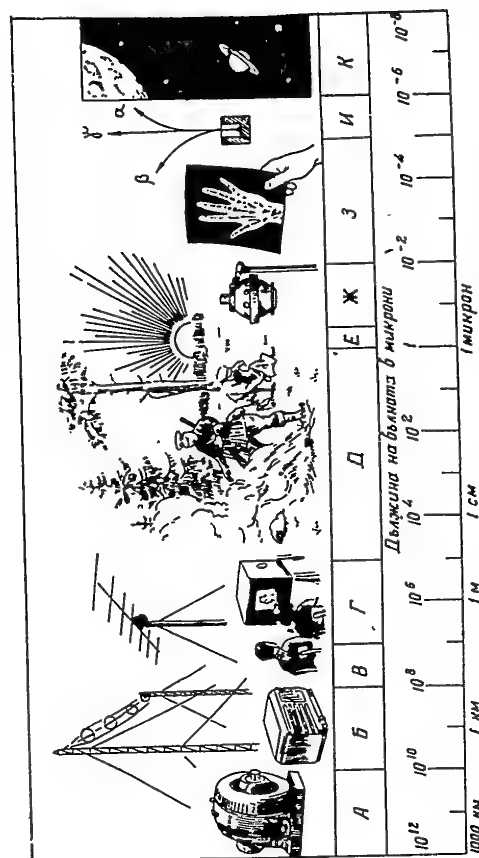
Със задржките усилия на много физици били установени свойствата на рентгеновите лъчи. Те се оказали аналогични на свойствата на светлината и на другите електромагнитни вълни. Рентгеновите лъчи се пречупват при преминаването им през вещество, при преминаването им през кристали се наблюдава явлението дифракция и т. н. По такъв начин било доказано, че рентгеновите лъчи представляват също електромагнитни вълни, но по-къси от видимата светлина.

Тези лъчи имат свойството да проникват и през непрозрачни вещества и затова са намерили при-

ложение в различни области на техниката, както и в медицината. Малко по-късно, в 1896 година, Бекерел открива гама-лъчите, които имат още по-малка дължина на вълната от рентгеновите лъчи. Гама-лъчите също проникват през непрозрачни вещества както рентгеновите лъчи, но се получават по друг начин, за което ще бъде казано малко по-долу. Известните понастоящем електромагнитни излъччи (лъчения) може да се разпределят по дължината на вълната или по честотата си в дадената на фиг. 17 скала на електромагнитните вълни.

Скалата, както се вижда от фиг. 17, е разделена на няколко области. Трябва да се има предвид, че това деление е произволно и не съвсем строго. То се основава главно на методите за получаване или откриване (проявяване) на излъчките. Обаче вълни с една и съща дължина може да се получат по различни начини. Например гамалъчите, както е известно, се изпускат от атомните ядра, но електромагнитни излъчки със същата дължина на вълната може да се получат и в рентгеновите тръби.

Рентгеновите лъчи възникват при бомбардиране на тежки елементи (волфрам, молибден) от електрони, които се движат с голяма скорост. Ако се увеличи скоростта на бомбардиращите електрони, увеличава се честотата (намалява се дължината на вълната) и рентгеновите лъчи преминават в областта на гама-лъчите. Втори пример: ултравиолетовото излъчване с дължина на вълната 10^{-6} см възниква при газово изпразване, но то може да се получи и в рентгенова тръба. Трябва да се има предвид, че свойствата на излъчките не зависят от метода на получаването им,



Фиг. 17. Общ спектър на електромагнитните вълни: *A* — излъчци от генератор на променлив ток, *B* — област на радиопредаване, *B* — къси радиовълни; *C* — ултракъси радиовълни, *D* — инфрачервен лъч, *E* — видима светлина, *Ж* — ултравиолетов лъч, *З* — рентгенови лъчи, *И* — гамма-лъчи, *K* — космични лъчи

а се определят само от дължината на вълната им (от честотата).

Начините за получаване на електромагнитни вълни са твърде различни. Вълните, като се почне от радиовълните и се стигне до инфрачервените лъчи, може да се получат по-чисто електричен път. Обаче в по-голямата част от инфрачервената област дължините на вълните са много малки, за да се генерират от електрични трептящи кръгове, и основният спектър на инфрачервеното излъчване се получава при излъчването на нагрети тела. Поради това инфрачервеното излъчване се нарича често топлинно. То заема област от спектъра приблизително от 0,76 до няколкостотин микрона, лежаща между червените лъчи от видимата част на спектъра и ултракъсите радиовълни. При повишаване на температурата на нагрятото тяло възниква излъчване, съответстващо на видимата част на спектъра. От целия спектър на електромагнитните вълни частта, заета от видимата светлина, е твърде малка. Тя съответствува, както вече се каза по-горе, на обхват от електромагнитни вълни, лежащ между 0,4 и 0,76 микрона.

Светлината, която възниква при горенето на електричната дъга или в кварцовите и живачните лампи, съдържа както видими, така и ултравиолетови лъчи. Ултравиолетовите лъчи, както вече беше отбелязано, се прекриват от рентгеновите лъчи.

До двадесетте години на сегашния век по скалата на електромагнитните вълни нямаше препокривания, а даже оставаха празни места. По-специално между радиовълните и инфрачервените лъчи имаше празнина. Тази празнина беше запълнена от съветския физик А. А. Глаголев

Аркадиев, който получи електромагнитни вълни с дължина на вълната от 1 см до 0,10 мм.

Обхватът от електромагнитни вълни, който включва инфрачервената, видимата и ултравиолетовата област, се казва оптичен обхват. Целият оптичен обхват може да се обедини под общото название „светлина“. Ето защо под светлинно излъчване в бъдеще ще разбираме излъчването в инфрачервената, видимата и ултравиолетовата област. И трите вида лъчи се изпускат от атомите и молекулите на веществата, за което ще говорим по-долу.

И тъй съвременната физика се занимава със скала на електромагнитните вълни, обхващаща доста широка област. Тези вълни се получават по различни методи, откриват се също по различни методи, но имат единна електромагнитна същина, разпространяват се в празно пространство с еднаква скорост и се подлагат на дифракция и интерференция.

Би могло да се помисли, че с установяването на електромагнитната същност на светлината вълновата теория окончателно възтържествувала. Обаче историята продължила. Това тържество се оказало кратковременно. Открити били редица явления, които можело да бъдат обяснени само ако се предположи, че вълните имат свойствата на отделни частици. Но затова ще говорим в следващия раздел.

5. СВЕТИННИ КВАНТИ

Физиците открили две явления, които не могли да обяснят с електромагнитната теория за светлината, т. е. с предположението, че светлината представлява електромагнитни вълни. Първото

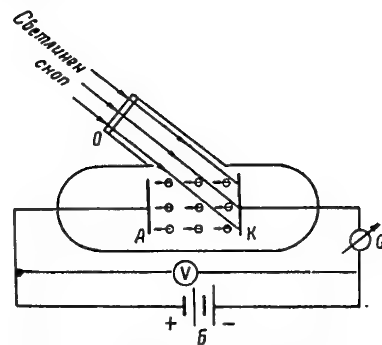
от тези явления е излъчването от абсолютно черни тела при различни температури. Абсолютно черно тяло във физиката се нарича тяло, което напълно поглъща падащите върху него лъчи, каквато и да бъде дължината на вълната им, и което притежава най-голяма способност към излъчване. В природата няма тела, които напълно да поглъщат всички лъчи, които падат върху тях. Най-силно поглъщащи са саждите, платиновата чернилка и бисмутовата чернилка — те поглъщат около 98% от падащата върху тях светлинна енергия. Абсолютно черно тяло може обаче да се създаде изкуствено. Изкуствено тяло, приближаващо се най-много до абсолютно черното тяло, било предложено за пръв път от известния руски физик В. А. Михелсон. Законите за излъчването от абсолютно черното тяло са изучени добре. Ето защо излъчването от редица нагreti тела се приема с известно приближение за подчиняващо се на законите за абсолютно черно тяло.

Многобройните опити да се установи закон за излъчването от абсолютно черно тяло въз основа на вълновата представа за светлината не се увенчали с успех. Резултатите от опитите не отговаряли на теорията. В 1900 година немският учен М. Планк предложил смелата идея, че освен вълнови свойства светлината притежава и корпускуларни свойства (свойства на частици). Впоследствие тази идея била потвърдена опитно.

Корпускуларните свойства на светлината се изразяват в това, че при всички взаимодействия с веществото светлинната енергия се поглъща и изпуска на отделни „късчета“, наречени кванти или фотони. Получената от Планк зависимост за излъчването от абсолютно черно тяло въз основа на неговата идея, че светлината се изпуска на

„късчета“ (порции), съвпаднала изключително точно с опитните данни. Тази зависимост се използва и понастоящем.

Второто явление, което не могло да се обясни с електромагнитната теория за светлината, било така нареченият фотоелектричен ефект, изследван



Фиг. 18. Схема на опита за изучаване на фотоелектричния ефект във вакуум

най-първо за първи път в 1888—1890 г. от професора в Московския университет А. Г. Столетов. Същността на фотоелектричния ефект, както е известно, се състои в излизане на електрони от металите под действието на светлината. Тези електрони носят названието фотоелектрони. В историята на физиката фотоелектричният изигра важна роля, понеже предизвика рязка промяна на възгледите за естеството на светлината. Освен това фотоелектричният намери широко приложение в техниката. На фотоелектричен принцип са построени известните на всички уреди — фотоелементите.

За изследване на явлениято фотоефект Столетов и другите изследователи използвали схемата, показана на фиг. 18.

Две метални плочки A (анод) и K (катод) са поместени в съд, от който е изтеглен до крайна възможност въздухът с цел сблъскването на електроните с молекулите на въздуха да не внася усложнения в наблюдаваните явления, а също, за да предпазят от окисляване плочките A и K . Посредством батерията B между плочките се създава потенциална разлика. Ако плочката, съединена с минуса на батерията, се освети с ултравиолетови лъчи през прозорчето O , направено от кварц (понеже обикновеното стъкло задържа ултравиолетовите лъчи), във веригата на батерията ще протече ток. Този ток се измерва с галванометъра G . Установено е, че под действието на светлината плочката K отделя електрони, които под влияние на електричното поле между плочките A и K политат към плочката A . Електронният поток представлява именно токът, чиято сила се определя от броя на електроните, които светлината освобождава за единица време.

При опитите на Столетов плочката K била от цинк, който дава фотоефект само при осветяване с ултравиолетови лъчи. Понастоящем са известни много вещества, проявяващи фотоефект при облъчване не само с ултравиолетови лъчи, но и с видими и даже с инфрачервени лъчи.

При изследване на фотоефекта се изяснили следните закономерности:

1. Между началото на осветяването на плочката и момента на появяването на електрони няма забележимо закъснение. Опитите, направени напоследък, показват, че времето между началото на осветяването и появяването на фототока не надминава 10^{-9} сек.

2. Най-голямата скорост на излитащите фотоелектрони не зависи от интензитета на светлината, а се определя изключително от дължината на светлинната вълна. С други думи, както и да се мени интензитетът на светлината, появяват се еднакво бързи електрони, стига дължината на вълната да остава постоянна.

3. Броят на излитащите фотоелектрони е пропорционален на интензитета на падащата светлина. Този закон се спазва толкова точно, че броят на излитащите електрони може да служи за мерило на интензитета (силата) на светлината. Тази закономерност се използва широко в светлинната техника за измерване интензитета на светлината.

4. Ако се увеличава дължината на светлинната вълна, стига се до такава дължина, при която фотоефектът изчезва. Тази дължина се нарича гранична дължина на вълната.

Всички тези закони може да се обяснят просто, ако предположим, че светлината се поглъща на отделни късчета (порции), наречени светлинни кванти или фотони. Енергията на всеки отделен светлинен квант (фотон) се намира по формулата:

$$\epsilon = h \cdot \nu.$$

В този израз h е постоянна величина, равна на $6,62 \cdot 10^{-27}$ ерг.сек.; ν е честотата на светлинните вълни.

Връзката между честотата и дължината на светлинната вълна се изразява със следната зависимост:

$$\nu = \frac{c}{\lambda},$$

където c е скоростта на светлината, равна на $3 \cdot 10^{10}$ см/сек.

От тези изрази следва изводът, че два светлинни лъча с различна дължина на вълната се различават един от друг по енергията на фотона. По-

малка енергия имат фотоните, които съответствуват на далечните инфрачервени лъчи, а значително по-голяма — фотоните, които съответствуват на ултравиолетовите лъчи. От съотношението $\epsilon = h \frac{c}{\lambda}$

лесно може да се изчисли, че на инфрачервените лъчи с дължина на вълната $\lambda = 0,8$ микрона (т. е. лежащи почти на границата с видимата област) отговаря енергия на фотона $\epsilon = 2,5 \cdot 10^{-12}$ ерга $= 1,56$ ев¹, на видимите лъчи, лежащи на границата с ултравиолетовата област с дължина на вълната $\lambda = 0,4$ микрона, отговаря енергия $\epsilon = 5 \cdot 10^{-12}$ ерга $= 3,14$ ев и на ултравиолетовите лъчи с дължина на вълната $\lambda = 0,1$ микрона отговаря енергия $\epsilon = 20 \cdot 10^{-12}$ ерга $= 12,5$ ев.

Да допуснем, че върху някое тяло пада светлинен поток с дължина на вълната λ , т. е. поток от светлинни кванти с енергия, равна на $h \cdot \nu$. Известно е, че металите съдържат много свободни електрони и поради това са добри проводници на електричеството. Свободните електрони обаче не могат самостоятелно да напуснат метала. За да напусне метала, свободният електрон трябва да извърши работа за преодоляване на силите, които го задържат.

За всеки метал тази работа не излиза извън напълно определени граници. Например за цезия тя се намира в границите от 0,7 до 1,36 ев, за молибдена — от 3,2 до 4,3 ев, за цинка — от 3,2 до 4,1 ев, за желязото — от 3,9 до 4,8 ев и т. н. Ако

¹ За единица енергия в атомната физика е приет електрон-волтът (ев). Един електрон-волт е кинетичната енергия, която получава един електрон при преминаването му през ускоряващо електрично поле с потенциална разлика един волт.

1 ев $= 1,6 \cdot 10^{-12}$ ерга $= 3,82 \cdot 10^{-10}$ кал.

сравним приведените цифри, ще видим, че например цинкът ще проявява фотоефект само ако дължината на вълната на падащата светлина лежи в ултравиолетовата област (под 0,3 микрона, каквито лъчи е употребил при своя опит Столетов). Цезият ще проявява фотоефект не само под действието на ултравиолетовите лъчи, но и под действието на видимите и инфрачервените лъчи. Върху фотоефекта е основана работата на фотоелементите.

Фотоефектът се обяснява лесно с квантовата същина на светлината, но не може да се обясни само с вълновата теория за светлината. Действително съгласно вълновата теория падащите върху метала електромагнитни вълни привеждат електроните на атомите му в трептеливо движение. Амплитудата на това движение се увеличава до тогава, докато електроните натрупат необходимата за откъсването им енергия. Но за да стане това, трябва да мине известно време от началния момент на падането на светлината върху метала. При слаба светлина това време може да бъде много дълго. Поради това би могло да се заключи, че за да започне освобождаване на електрони, е необходимо повече време за облъчване при светлина с по-малък интензитет, отколкото при светлина с по-голям интензитет. Обаче, както вече се каза по-горе, опитите показват, че и при най-слаба ултравиолетова светлина излизането на електрони от цинка и от други метали започва практически мигновено. В образуването на фотоелектрони главна роля играе дължината на вълната, а не интензитетът на падащата светлина. Така например и най-интензивният поток от червена светлина не може да откъсне нито един електрон от повечето метали, докато и най-слабата виолетова светлина непременно ще освободи поне няколко електрона.

Следователно фотоефектът не може да се обясни от гледна точка на вълновата теория, докато в квантовата теория за светлината той получава крайно просто тълкуване.

Квантовите свойства на светлината се проявяват и при други видове светлинно въздействие върху веществото — например под действието на светлината може да възникне химически процес, който се заключава обикновено в разпадане на молекулата, погълнала светлината.

Радиовълните също притежават квантови свойства, но понеже имат малка честота (голяма дължина) в сравнение например с видимата светлина, то при тях енергията на кванта е също малка. В този случай е крайно трудно да се долови прекъснатият характер на действието им. Въобще всички електромагнитни излъчвания имат квантови свойства. Тези свойства се проявяват особено в по-късите вълни (светлината, рентгеновите лъчи и гама-лъчите). При това квантовите свойства на електромагнитните излъчвания се проявяват в процесите на излъчване и поглъщане, а вълновите свойства — при разпространението им, както например при дифракцията и интерференцията.

Описаният вид фотоефект се нарича външен фотоефект, понеже в този случай светлината откъсва електроните от дадено вещество и ги изхвърля във външното пространство. Има още два вида фотоелектрични ефекти, които се използват широко в техниката: вътрешен фотоефект, който се състои в увеличаване електропроводимостта на полупроводниците и диелектриците (лошите проводници) под действието на светлината (върху принципа на вътрешния фотоефект са устроени фотосъпротивленията), и фотоефект „В

запиращия слой“ (фотоволтаичен ефект), който се заключава във възбуждане на електродвижеща сила на границата между проводник и чувствителен към светлината полупроводник.

6. ЕЛЕКТРОННА ОБВИВКА НА АТОМА

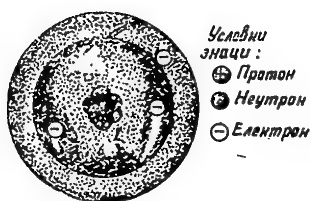
Както споменахме, всичко в природата се състои от отделни съвсем малки частици — атоми и молекули. Атомът е най-малката частица на химичния елемент, която напълно запазва неговите свойства. В природата има толкова на брой различни атоми, колкото са откритите химични елементи.

Молекула се нарича по-сложна частица, която се състои от няколко атома. Например молекулата на водата се състои от два водородни и един кислороден атом.

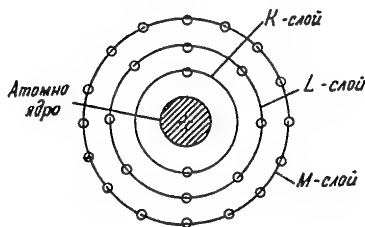
Според съвременните схващания атомът има сложен строеж. Той се състои от ядро, съставено от протони и неутрони и носещо положителен товар, и отрицателно наелектризирани частици, наречени електрони, които се въртят около ядрото. Електроните образуват електронната обвивка на атома. Те обикалят около ядрото не безразборно и не на каквото и да е разстояние от него, а по определени орбити (пътища) на определени разстояния от ядрото. Различните опитни данни показват, че възможните орбити на електроните в обвивката на атома се групират в слоеве. Тях можем да си ги представим грубо като кълбовидни слоеве, обвиващи ядрото (фиг. 19). Електроните, които се намират на еднакво разстояние от ядрото, образуват един слой от електронната обвивка. Най-близкият до ядрото слой се нарича К-слой, а следващите слоеве се означават с бук-

Период	Г Р У П П И Н А Е Л Е М Е Н Т И Т Е																			
	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII			0		
1	H 1 Водород 1,0080												(H)					He 2 Гелий 4,003		
2	Li 3 Литий 6,940		Be 4 Бериллий 9,013		5 B Бор 10,82		6 C Въглерод 12,010		7 N Азот 14,008		8 O Кислород 16,0000		9 F Флуор 19,00					Ne 10 Неон 20,183		
3	Na 11 Натрий 22,997		Mg 12 Магнезий 24,32		13 Al Алюминий 26,98		14 Si Силиций 28,09		15 P Фосфор 30,975		16 S Спра 32,066		17 Cl Хлор 35,457					Ar 18 Аргон 39,944		
4	K 19 Калий 39,100		Ca 20 Кальций 40,08		Sc 21 Скандий 44,96		Ti 22 Титан 47,90		V 23 Ванадий 50,95		Cr 24 Хром 52,01		Mn 25 Манган 54,93		Fe 26 Железо 55,85		Co 27 Кобальт 58,94		Ni 28 Никель 58,69	
	29 Cu Медь 63,54		30 Zn Цинк 65,38		31 Ga Галлий 69,72		32 Ge Германий 72,60		33 As Арсен 74,91		34 Se Селен 78,96		35 Br Бром 79,916					Kr 36 Криптон 83,8		
5	Rb 37 Рубидий 85,48		Sr 38 Стронций 87,63		Y 39 Итрий 88,92		Zr 40 Цирконий 91,22		Nb 41 Ниобий 92,91		Mo 42 Молибден 95,95		Tc 43 Технеций (99)		Ru 44 Рутений 101,7		Rh 45 Родий 102,91		Pd 46 Паладий 106,7	
	47 Ag Серебро 107,880		48 Cd Кадмий 112,41		49 In Индий 114,76		50 Sn Калай 118,70		51 Sb Антимон 121,76		52 Te Телур 127,61		53 I Йод 126,91					Xe 54 Ксенон 131,3		
6	Cs 55 Цезий 132,91		Ba 56 Барий 137,36		La* 57 Лантан 138,92		Hf 72 Хафний 178,6		Ta 73 Тантал 180,88		W 74 Вольфрам 183,92		Re 75 Рений 186,31		Os 76 Осмий 190,2		Ir 77 Иридий 193,1		Pt 78 Платина 195,23	
	79 Au Злато 197,2		80 Hg Живак 200,61		81 Tl Таллий 204,39		82 Pb Олово 207,21		83 Bi Бисмут 209,00		84 Po Полоний 210		85 At Астатин (210)					Rn 86 Радон 222		
7	Fr 87 Франций (223)		Ra 88 Радий 226,05		Ac** 89 Актиний 227		(Th)		(Pa)		(U)									
* Л А Н Т А Н И Д И																				
Ce 58 Церий 140,13	Pr 59 Прозеодим 140,92	Nd 60 Неодим 144,27	Pm 61 Прометий (147)	Sm 62 Самарий 150,43	Eu 63 Европий 152,0	Gd 64 Гадолиний 156,9	Tb 65 Тербий 159,2	Dy 66 Диспрозий 162,46	Ho 67 Холий 164,94	Er 68 Ербий 167,2	Tm 69 Тулий 169,4	Yb 70 Итербий 173,04	Lu 71 Лутеций 174,99							
** А К Т И Н И Д И																				
Th 90 Торий 232,12	Pa 91 Протактиний 231	U 92 Уран 238,07	Np 93 Нептуний (237)	Pu 94 Плутоний (239)	Am 95 Америций (243)	Cm 96 Кюрий (242)	Bk 97 Берклий (243)	Cf 98 Калифорний (246)	E 99 Айнштейний (247)	Fm 100 Фермий (248)	Mv 101 Менделевий (249)									

вите L, M, N, O, P, Q (фиг. 20). Във всеки слой може да има не повече от определен брой електрони, например в K -слоя не повече от два, в L -слоя не повече от 8, в M -слоя не повече от 18, в N -слоя не повече от 32 и т. н.



Фиг. 19. Схема за строежа на литиевия атом



Фиг. 20. Схема за строежа на електронната обвивка на атома

Химичните свойства на атома зависят от строежа на електронната му обвивка. При химичните реакции атомите си въздействуват само с външните си електронни слоеве, поради което химичните свойства на елементите се определят не от всички

електрони, а само от външните, намиращи се в последния, не напълно зает слой.

Изучавайки свойствата на химичните елементи, великият руски химик Д. И. Менделеев установи, че сходните в химическо отношение елементи се редуват през правилни интервали и че по такъв начин едни и същи свойства се повтарят периодично. Като разделил всички елементи на периоди и ги подредил един под друг така, че сходните по свойства елементи да се намират един под друг (в една група), Менделеев съставил таблица, наречена от него периодична система на елементите. Тази система на елементите, както е известно, носи името Менделеева периодична система на елементите. Впоследствие се оказа, че периодичният закон за изменение на химичните свойства на елементите, открит от великия Менделеев, отразява дълбоките закономерности в строежа на атома, в неговата електронна обвивка.

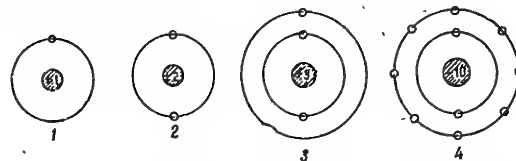
Ще разгледаме накратко как се изменят свойствата на елементите в зависимост от строежа на електронната обвивка на атома. Да започнем от най-лекия елемент — водорода. Водородният атом има само един електрон, който се върти около ядрото. Той се намира в слоя K . В слоя K може да има не повече от два електрона. Значи при водорода този слой не е попълнен докрай с електрони. Поради това водородният атом лесно дава своя електрон на други атоми (лесно встъпва в химични реакции), като се превръща в положителен еднотоварен водороден йон, състоящ се само от ядро, което се нарича протон. Идващият след водорода елемент — хелият — има вече два електрона в електронната си обвивка, които образуват слоя K . Тъй като в хелиевия атом слой

К е попълнен докрай, хелият не дава от своите електрони, нито пък приема чужди. Поради това той е причислен към инертните газове, невлизащи в химични реакции. Третият поряд елемент е литият, който има три електрона в електронната си обвивка. Електронният слой на хелия (слой К), като много устойчив, остава и тук, а третият електрон слага началото на нов електронен слой L. Този електрон е свързан с ядрото по-слабо от първите два и литиевият атом както водородния го дава лесно и се превръща в положителен йон. Идващите след лития елементи — берилий, бор, въглерод и т. н. — запазват в слоя К двата електрона, но броят на електроните във втория слой L се увеличава последователно с единица, докато достигне осем в неоновия атом. В неона са изпълнени докрай двата първи електронни слоя К и L — в първия има два, а във втория — осем електрона. Получава се отново устойчиво съединение на електроните в електронната обвивка, вследствие на което неонът, подобно на хелия, не може нито да дава, нито да приема електрони. Поради това неонът също влиза в групата на инертните газове. След неона идва натрият. Той има единадесет електрона в обвивката. Десет образуват слоевете К и L, а единадесетият слага началото на нов слой М. По такъв начин атомът на натрия има структура, подобна на атома на лития: и единият, и другият имат във външния слой на електронната си обвивка по един електрон, което прави тези елементи химически сходни. Тази закономерност продължава и по нататък — до края на таблицата. В Менделеевата таблица броят на електроните, намиращи се в слоевете на електронната обвивка на елементите, е даден във вид на стълбче отдясно

или отляво в преградката на всеки химичен елемент.

На фиг. 21 са дадени схематично моделите на атомите на водорода, хелия, лития и неона.

Видяхме, че елементите с еднакъв брой електрони във външния слой и имащи поради това



Фиг. 21. Схеми за строежа на електронните обвивки на атомите:

1 — водород; 2 — хелий; 3 — литий; 4 — неон

сходни свойства, съставляват една група. В първата група влизат елементите (водород, литий, натрий и т. н.), които имат във външния слой на обвивките един електрон. Към втората група се отнасят елементите (берилий, магнезий, калций и т. н.), които имат във външния слой на обвивката два електрона и т. н. От това следва, че химичните свойства на атомите се определят от електроните в последната, непълнена докрай обвивка. Тези електрони се наричат валентни. Броят на валентните електрони определя валентността на елемента. Елементите от първа група са едновалентни, елементите от втора група двувалентни и т. н.

Въз основа на казаното дотук, лесно може да се обясни и периодичното повтаряне на химичните свойства на елементите. Когато последният слой е попълнен с електрони, получава се инертен газ. При по-нататъшното увеличаване на електро-

ните се слага началото на нов електронен слой — почва следващият период в периодичната система. Например водородът и хелият образуват първия период. Понеже в хелия слой К е попълнен с електрони, то третият електрон в лития дава началото на нов слой L — почва вторият период на елементите. Вторият период продължава, докато се попълни с електрони слой К. Това става при неона. Тъй като в неона слой L е попълнен с електрони, то от натрия започва попълването на слой М — слага се начало на третия период на елементите, който продължава до аргона и т. н.¹

Така ние намерихме причината за периодичността на химичните свойства на елементите. Периодичността е предизвикана от това, че химичните свойства се определят главно от броя на външните (валентните) електрони в атома, а броят на външните електрони се повтаря периодично с попълването на слоевете К, L, M и т. н.

Такъв е физичният смисъл на зависимостта на свойствата на елементите от строежа на електронната обвивка на техните атоми.

7. ЕНЕРГЕТИЧНИ НИВА НА АТОМИТЕ

В раздел V бяха разгледани квантовите свойства на светлината при поглъщането ѝ. Тук ще говорим за квантовите закони на светлината,

¹ Като се започне от четвъртия период на Менделеевата система, забелязват се отклонения от посочения ред за попълване на слоевете. На някои места от периодичната система новият слой започва да се запълва още преди да се попълни докрай предният слой. На други места с увеличаване броя на електроните в атома броят на електроните в последния слой остава неизменен, а се допълва предният слой.

които се проявяват при нейното излъчване. За това е нужно да разгледаме въпроса за енергетичните нива на атомите.

Хипотезата на Планк, че светлината се излъчва не непрекъснато, а на късчета — кванти, — както и опитите по изучаване на процеса за сблъскването на електроните с атомите на светящи пари и газове установиха, че атомите имат определени енергетични нива.

Както вече беше отбелязано, електроните на атома се намират на определено разстояние от ядрото, т. е. в слоевете на електронната обвивка. На всеки слой от обвивката отговаря напълно определена стойност на енергията, която имат електроните от слоя.

Според някои нагледни представи за строежа на атома, които дава в теорията си датският физик Н. Бор, това се обяснява с обстоятелството, че електроните в атомите могат да се въртят не по каквито и да са орбити, а само по напълно определени, като на всяка орбита съответствува свойствена за нея енергия.

Съгласно строгите представи на квантовата механика такива нагледни представи за атома дават само неговия груб модел. Според квантовата механика понятието орбита няма смисъл по отношение на електрона. В действителност може да се говори само за вероятност електронът да се намира на дадено разстояние от ядрото (за разстояние, на което, средно взето, най-често се намира електронът). В квантовата механика се изчислява именно тази величина. С най-голяма вероятност електронът се намира на разстояние, равно на радиуса, изчислен по теорията на Бор. Тук няма нужда да се спираме подробно на тези въпроси. За нас са напълно достатъчни опитно потвърдените пред-

стави за прекъснатия характер на енергията в атома или молекулата. Пълната енергия на електрона в атома се състои от кинетичната енергия на електрона, нужна за движението му по орбитата, и от потенциалната му енергия, която го притегля към ядрото.

При нормално, устойчиво състояние на атома електроните се намират във вътрешните, близки до ядрото слоеве, на които отговарят най-малки количества енергия на електрона, а следователно и на атома като цяло. С увеличаване на разстоянието от ядрото кинетичната енергия на електрона намалява, а потенциалната се увеличава, и то повече, отколкото се намалява кинетичната. Поради това с увеличаване радиуса на орбитата пълната енергия на електрона също се увеличава, а заедно с това се увеличава и енергията на атома като цяло. Следователно за прехвърлянето на електрона от по-малка орбита в по-голяма винаги е нужно да се изразходва работа.

Ако върху атома се въздействува с каквато и да е външна сила, например ако атомът се удари с електрони или с друга частица, и ако действащата сила е достатъчно голяма, атомът може да се йонизира, т. е. да се отдели електрон от който и да е слой на обвивката. Обаче въздействието върху атома може да бъде по-слабо и получената енергия да се окаже недостатъчна за откъсване на електрон от него. В този случай външното въздействие довежда само до възбуждане на атома. При възбуждане на атомите електроните остават в обвивката, а не се откъсват от нея както при йонизацията. Обаче енергията на атома се увеличава спрямо нормалното ѝ количество (преди възбуждането).

Какво става при възбуждането на атома? Под влияние на външното въздействие електронът, получавайки допълнителна енергия, преминава в един от по-отдалечените слоеве, на който съответствува ново количество енергия на електроните, а следователно и на атома като цяло. Именно увеличаването на енергията на частицата, т. е. преминаването ѝ от по-ниско на по-високо ниво, се нарича възбуждане на атома.

Като последица от това отдалечаване на електрона от атомното ядро атомът придобива излишна енергия и преминава във възбудено състояние.

Това състояние на атома обаче е неустойчиво и поради това приблизително след една стомилионна част от секундата електронът се връща обратно в слоя, от който е бил откъснат под въздействието на външната сила.

При това връщане на електрона в предишния слой енергията му се намалява и атомът изпуска излишната енергия във вид на електромагнитна излъчка (фотон). Големината на кванта енергия, носен от фотона, е равна на разликата между енергията на електрона в по-отдалечения слой и енергията му в изходния слой (при възбуждането и преди възбуждането на атома).

Ако E_1 е енергията на електрона преди възбуждането, а E_2 — енергията на електрона при възбуждането, големината на фотона е равна на $\epsilon = E_1 - E_2$.

Какво е по вид излъчването при преминаване на атома от възбудено в нормално състояние?

При преминаване на електрон от по-далечен в по-близък до ядрото слой излъчването бива светлинно или рентгеново в зависимост от енергията на кванта. Колкото е по-голяма енергията на

кванта, толкова е по-голяма честотата на изпуска-
ната излъчка (по-малка е дължината на вълната).
Честотата на излъчването може да се определи
от израза (гл. формулата в параграф 5)

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{6,62 \cdot 10^{-27}}.$$

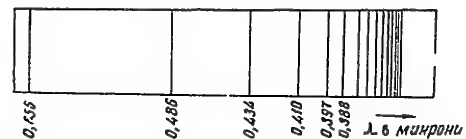
Да отговорим сега на въпроса може ли често-
тата на излъчването да бъде произволна или с
други думи може ли електронът и атомът като
цяло¹ при възбуждането да приемат, а при пре-
минаването им в нормално състояние да изпускат
енергия в произволно количество.

Опитите показват обратното. Ако пропуснем
през стъклена призма светлина от слънцето,
електрическа лампа или свещ, върху екрана ще
получим вместо бял цвят одцветена ивица, в която
ще има всички цветове от червения до виоле-
товия — както в дъгата. Този дъгов образ на
бялата светлина при преминаването ѝ през призма
Нютон нарекл **спектр**. Спектри, в които има
всички дължини на вълните (всички честоти),
редуващи се непрекъснато, се наричат **плътни**
или **непрекъснати спектри**.

Друг вид има спектърът, ако за източник на
светлина се използват светещи газове или ме-
тални пари. Върху екрана вместо всички цветове
ще се получи само редица от резки линии, които
отговарят на определени цветове. Такива спектри
е прието да се наричат **линейни**. Линейните спек-
три се излъчват от атомите на веществата. На

¹ Тук става дума за вътрешната енергия на атома. Ки-
нетичната енергия на движещия се като цяло атом може
да се мени с произволно малки количества, понеже ско-
ростта на постъпателното движение на атома може да се
мени произволно малко.

фиг. 22 е показан линейният спектър на водород-
ния атом във видимата и ултравиолетовата част
на спектъра. Цифрите срещу линиите показват
дължините на вълните в микрони. Всеки газ или
пара дава различно разположение на спектрал-
ните линии. Броят на линиите във всеки газ или
пара е също различен. Например при желязото
се наброяват над 10 000 отделни линии, докато
при водорода те са няколко десетки.



Фиг. 22. Линейен спектър на водорода във ви-
димата и в близката до ултравиолетовата
част на спектъра

Измежду спектрите на парите и газовете има и
спектри, които се състоят от отделни ивици,
разделени с тъмни междини. Някои от тези ивици
се състоят от много голям брой отделни линии,
а други действително представляват плътни
ивици. Такъв тип спектри е прието да се наричат
ивични. Ивичните спектри се излъчват от моле-
кулите на веществата. Ако се пропусне светлина
през слабо светещи или съвсем несветещи пари
или газ (например въздух), то в спектъра на тая
светлина може да се открият редица тъмни линии
или ивици, разположени точно там, където биха
се намирали светлите линии или ивици при из-
пускане на светлина от тези пари или газове в
нажежено състояние. Следователно и при пре-
минаването на светлината през въздух, съдържащ

водни пари, въглероден двуокис, кислород, водород, азот и др., ще се наблюдават отделни нива на поглъщане. За това ще говорим по-подробно в глава IV.

Понеже атомът на всяко вещество изпуска свои определени линии, които съответствуват на неговия спектър, в практиката това се използва широко за определяне на който и да е елемент в изследваната смес. Методът за изучаване на веществата по техните спектри се нарича спектрален анализ. Чрез спектралния анализ се определя в заводите съставът на сплавите, детайлите, различните материали, рудите, минералите и т. н. Ако се повишава налягането на светещите пари или на газа, спектралните линии започват да се разширяват, получава се голям интервал от дължини на вълните. При много големи налягания (сто и повече атмосферни) линейният спектър преминава в непрекъснат. Сега можем да отговорим на поставения по-горе въпрос.

Ако енергията на електрона, а следователно и на атома, би могла да изпитва всевъзможни изменения, то в атомния спектър би имало всевъзможни честоти и той би бил непрекъснат като спектъра на нажежено твърдо тяло или на подложен на голямо налягане газ. В действителност обаче атомният спектър (спектърът при изпускане или поглъщане на светлина от едноатомен газ) не е непрекъснат, а линеен. Той съдържа само някои определени, характерни за дадения атом честоти.

Следователно енергията на атома не може да се изменя непрекъснато, не може да има произволни стойности. Тя се изменя скокообразно, на определени, крайни късчета (порции), различни за различните атоми. Оттук следва, че енергията на атома не може да бъде произволна по големината,

а приема само някои избрани стойности, характерни за всеки атом. Възможните стойности на вътрешната енергия на атома са получили название — **енергетични нива на атома**¹.

Като се знае спектърът на веществото, определен по опитен път, например чрез облъчване на даден газ с електрони, имащи различна енергия, не е трудно да се определи енергетичното атомно ниво на даден елемент. Схемата на енергетичните нива на водородния атом, направена въз основа на спектрални данни, е изобразена на фиг. 23.

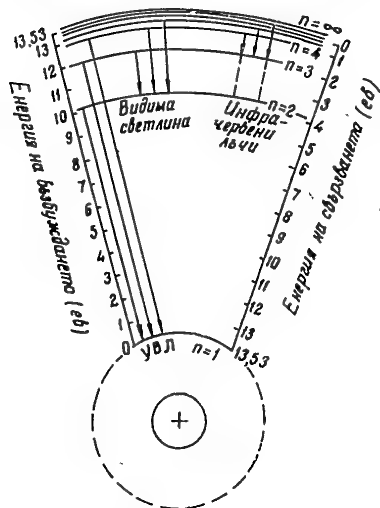
На фиг. 23 е означено със знак плюс атомното ядро на водорода. На енергетичните нива на атома съответствуват дъгите от сектора (цифрите $n=1, 2, 3$ до безкрайност). От лявата страна на сектора е нанесена скала, по която се отчита в специални единици — електрон-волтове (ев) — енергията на възбуждането на атома. От дясната страна е нанесена скала, по която се отчита енергията на свързването на електрона с ядрото — също в електрон-волтове.

Както вече отбелязахме, с електрон-волтове се прието да се измерва енергията на атомните частици.

На най-ниското енергетично ниво на атома ($n=1$) отговаря орбита с най-малък радиус. В нормално състояние на атома електронът се намира на тази орбита, понеже при нормални условия всички атоми имат възможно най-ниското енергетично ниво. От най-ниското енергетично ниво

¹ Наименованието „енергетично ниво“ е свързано по аналогия с енергията, изразходвана за повдигане на дадено тяло на определена височина. Колкото по-високо се повдига тялото, толкова по-голяма става неговата потенциална енергия (енергия на положението, нивото му). Разликата в потенциалната енергия на тялото за две височини (нива) се определя от разликата между нивата.

атомът не може произволно (без да му се даде енергия отвън) да премине в друго състояние. Давайки на атома достатъчно голям дял (порция)



Фиг. 23. Схема на енергетичните нива на водородния атом

енергия, например чрез удар с външен електрон, ние го възбудяваме или с други думи издигаем го от по-ниско на по-високо енергетично ниво, т. е. електронът „отскача“ в една от външните орбити.

Каква енергия трябва да поеме електронът на водородния атом, за да премине от по-ниско на

по-високо енергетично ниво? Опитите показват, че тази енергия е равна на 10,1 еВ. Ако електронът получи такъв дял (порция) енергия, той ще премине от орбита $n=1$ (най-ниското енергетично ниво) на орбита с номер $n=2$. Тази енергетична стойност е най-малкото късче енергия, която водородният атом може да погълне. По-малко количество енергия електронът не може да приеме, понеже не може никога да дойде в състояние, при което енергията му би се отличавала от енергията му при нормално състояние с по-малко от 10,1 еВ. За живачния атом например аналогичното количество (порция) енергия е 4,9 еВ. За да може електронът на водородния атом да премине направо от орбита с номер $n=1$ на орбита с номер $n=3$, той трябва да погълне енергия, равна на 12 еВ и т. н. Следователно електроните в атома може да приемат само строго определено количество енергия. Например водородният атом може да приема енергия само във вид на порции 10,1 еВ, 12 еВ и т. н., живачният атом — само във вид на порции 4,9 еВ, 6,7 еВ, 8,3 еВ и т. н.

Ако електронът на водородния атом получи енергия 13,53 еВ, той ще се откъсне въобще от ядрото. В този случай водородният атом ще се йонизира. Ако с отдалечаването на електрона от ядрото енергията на атома се увеличава, то връзката на ядрото с електрона ослабва. В йонизиращия атом изобщо няма връзка между ядрото и електрона. Както вече казахме, във възбудено състояние атомът е неустойчив. За стотици милионна част от секундата електронът преминава от орбита с по-голям радиус на орбита с по-малък радиус. Преминаването на електрона от по-далечна на по-близка орбита се съпровожда с изпускане на светлинен фотон.

Както се вижда от фиг. 23, когато електронът преминава от 6-то, 5-то или 4-то ниво на 3-то, изпускат се инфрачервени лъчи, при преминаването му от 5-то, 4-то или 3-то ниво на 2-ро изпуска се видима светлина, а при преминаване на електрона от 4-то, 3-то или 2-то ниво на 1-во изпускат се ултравиолетови лъчи. Ако електронът се присъедини към йонизиращ атом и премине веднага на най-близката орбита ($n=1$), то, както следва от горната формула, ще излетят ултравиолетови излъчвания с дължина на вълната 0,0912 микрона. Но електронът може да преминава последователно от орбита на орбита и тогава ще се изпускат всички вълнови дължини на светлинното излъчване — инфрачервени, видим и ултравиолетови лъчи последователно.

В многоелектронните атоми, както вече беше отбелязано, електроните се групират в слоеве. Външните електрони на тези атоми са свързани с ядрото значително по-слабо, отколкото вътрешните, защото, първо, те се намират на много по-голямо разстояние от ядрото и, второ, привличането на външните електрони от положителното ядро до голяма степен се компенсира с отблъскването им от отрицателните електрони, намиращи се във вътрешните слоеве.

Както показват измерванията, за да се откъсне от атома един от външните електрони, необходима е от 5 до 20 еВ енергия в зависимост от вида на атома. А за да се премести външен електрон в по-далечен слой, без да се откъсва от атома, т. е. за възбуждане на атома, необходимо е още по-малко енергия. При връщането на такъв електрон в първоначално положение ще бъде изпуснат светлинен квант с енергия, ненадминаваща 5—20 еВ. На такава излъчка ще съответства дължина на

инфрачервена, видима или ултравиолетова светлинна вълна. По такъв начин изпускането на инфрачервена, видима или ултравиолетова светлина (в оптичната област) е свързано със състоянието на външните електрони на атома.

За отделяне на електрони от вътрешните слоеве на сложните атоми е необходима много по-голяма енергия, отколкото за отделянето на електрони от външните слоеве. Така, за да се откъсне електрон от К-слоя на натриевия атом, е необходима енергия около 1100 еВ, за медния атом — повече от 9000 еВ, за волфрамовия — около 70 000 еВ. Преминаването на електрони в този случай от L-слоя и от следващите слоеве на свободното място в К-слоя довежда до изпускане на кванти с голяма енергия, която съответства на рентгеновите лъчи.

По такъв начин установихме, че при явленията излъчване и поглъщане на светлинна енергия светлината проявява корпускуларни свойства, т. е. свойства на поток от частици. С други думи тя има и корпускуларен характер.

На практика във всекидневния живот от нашето внимание се изплъзва обстоятелството, че светлинната енергия е съставена от отделни светлинни кванти, понеже светлината, с която имаме работа, се състои от огромно количество светлинни кванти.

Какво представляват квантът светлинна енергия и фотонът — неговият носител?

Преди всички установихме, че фотонът носи определена енергия, която той взема от източника на светлина и я дава на всяко тяло, което поглъща светлина. А присъщи ли са на фотона другите свойства на материалните частици, притежава ли той маса и количество движение?

Разбира се, притежава, защото как може да съществува енергия без маса? Тогава би трябвало при въздействието си върху каквото да е тяло светлината да оказва някакво налягане. В действителност така и става, макар това да се забелязва трудно, понеже при практически достижимите потоци светлинна енергия светлинното налягане е много малко. Например в ясен ден слънчевите лъчи оказват при пълно поглъщане 0,4 милиграма налягане на квадратен метър. Обаче светлинното налягане все пак е било забелязано. Това направил за първи път в 1901 г. забележителният руски физик П. М. Лебедев. Лебедев открил закона за светлинното налягане и този закон дал повод за установяване взаимната връзка между масата и енергията, тая взаимна връзка, която е основата на процесите в атомното ядро. Законът за взаимната връзка между масата и енергията в общ вид открил и формулирал в 1905 год. видният физик Алберт Айнщайн. Тази взаимна връзка се изразява по следния начин:

$$E = m \cdot c^2,$$

където E е енергията, m — масата, а c — скоростта на светлината. Тъй като енергията на фотона е равна на $\epsilon = h \cdot \nu$, то от израза за взаимната връзка между масата и енергията за масата на фотона получаваме формулата

$$m = \frac{h \cdot \nu}{c^2}.$$

Тогава количеството движение P , което притежава фотонът, ще бъде

$$P = m \cdot c = \frac{h \cdot \nu}{c}.$$

Следователно фотонът или светлинният квант има всички свойства на обикновена частица. Наред с това обаче ще изпаднем в голямо заблуждение, ако си представим фотона като някаква прашичка, която се движи със скоростта на светлината. Погрешно е да се мисли, че фотонната теория е просто връщане към корпускулярната теория на Нютон. Има съществена разлика между масата на фотона и масата на обикновената частица. В какво се състои тази разлика? Всяка обикновена частица, например електрон, алфа-частица, протон, неутрон и т. н., има маса в покой (маса на частицата, когато тя не се движи), която никога не става равна на нула.

По теорията за относителността масата, а следователно и енергията на всяка частица, която има маса в покой, различна от нула, нараства до безкрайност при приближаване на скоростта на частицата към скоростта на светлината. Обаче видяхме, че за фотона, който се движи със скоростта на светлината, енергията е крайна и зависи от честотата на излъчването. Излиза, че ако фотонът има маса в покой, то при разпространението на светлината масата и енергията му трябва да станат безкрайно големи (понеже фотонът се движи със скоростта на светлината), а, както казахме, това не е така — за фотона и двете величини са крайни. Получава се абсурд. Трудността може лесно да се преодолее, ако се приеме, че за разлика от обикновената частица фотонът има маса в покой, равна на нула.

Какво да разбираме под маса в покой, равна на нула?

Тези думи трябва да се разбират по следния начин. Фотонът съществува само тогава, когато се движи от излъчвателя — молекула или атом —

към друга молекула или атом, от които ще бъде погълнат. Следователно съществуването на фотона е неразделно свързано с движението. Поглъщането на фотона е свързано с превръщането на енергията на светлинния квант в друг вид енергия (например в топлинна енергия), при което фотонът прекратява своето самостоятелно съществуване. Следователно в покой фотонът изчезва, преминава в друга форма на материята. Твърдението, че масата на фотона в покой е равна на нула, означава, че фотони в покой не могат да съществуват.

Понякога в литературата фотонът се нарича квант енергия. Обаче такова уеднаквяване на кванта енергия с „частица“ излъчка — с фотона — е погрешно. Енергията не съществува самостоятелно извън материята и следователно не съществуват самостоятелно и квантовете енергия. Процесът изпускане на излъчки от молекулите, атомите или ядрата на атомите представлява не превръщане на енергията на тези системи в самостоятелно съществуващи квантове енергия, а преминаване на материята от форма на вещество във форма на излъчка.

8. ЩО Е СВЕТИНА

Да обобщим сега изложеното в тази глава. От всичко казано в нея, възниква съвсем основателно въпросът, какво всъщност представлява светлината — електромагнитни вълни или особени частици — фотони? Та дали при решаването на всеки въпрос искаме да получим определен отговор. Обаче за светлината не може да се отговори определено. Нещо повече, едно от най-значителните постижения на физиката в нашето

столетие е откритието, че опитите да се противопоставят вълновите свойства на светлината на корпускулярните ѝ свойства са погрешни. Доказа се убедително, че светлината притежава едновременно и вълнови, и корпускулярни свойства (свойства на частици), като в едни оптически явления се проявяват едните свойства, а в други оптически явления — другите свойства. Например при разпространението на светлината и при явленията дифракция и интерференция се проявяват вълновите ѝ свойства, а при излъчването и поглъщането на светлината се проявяват корпускулярните (квантовите) ѝ свойства. „Но цялостно — пише С. И. Вавилов — светлината не е нито вълна, нито частица, нито смес от едното и другото. Нашите обикновени понятия не са в състояние напълно да обхванат реалността, за това не ни достигат още нито думи, нито нагледни пособия.“

Възникват известни трудности в едновременното съчетаване на двете противоположни свойства. Макар тези трудности да не са още окончателно разрешени, те, разбира се, имат временен характер. Щом светлината притежава едновременно и свойствата на непрекъснати вълни, и свойствата на отделни частици, в действителност тя трябва да представлява диалектическо единство на тези противоположни свойства. Обаче тази единна картина още не е окончателно завършена.

След като на физиците станало напълно ясно, че светлината притежава едновременно свойства на електромагнитни вълни и квантови свойства, поставен бил въпросът, не могат ли при известни условия и частиците на веществата да проявяват вълнови свойства.

По-нататъшният развой на физиката потвърди тая догадка. Беше доказано, че притежаването на вълнови и корпускуларни свойства не е особеност само на светлината, а е обща за всички частици закономерност, т. е. при движението си всички частици проявяват както вълнови, така и корпускуларни свойства. Например многобройни опити показват, че всеки поток от електрони, протони, атоми и молекули при срещането на малки препятствия (атоми на веществата) и отвори причинява същите дифракционни явления, както светлината, т. е. притежава същите основни свойства на вълните.

Вълновите свойства на електроните се използват в електронния микроскоп, който увеличава много повече от оптичния микроскоп.

Съчетаването на вълновите и корпускуларните свойства може да бъде обяснено само въз основа на диалектическия материализъм, който установява, че във всяко природно явление се проявяват противоположности и че заедно с това съществува и диалектичното им единство.

И така в тази глава се запознахме с физичната същина на светлинното излъчване и с някои негови свойства. Установихме, че излъчването на светлина е свързано с атомите и молекулите на веществата. Физичната същина на светлинното излъчване се състои в това, че атомите и молекулите, получавайки енергия отвън, се възбуждат и стават сами източници на енергия, по специално на светлинна енергия, защото енергията не изчезва — тя само преминава от една форма в друга. При атомния взрив атомите и молекулите на веществото, от което се състоят зарядът на бомбата, продуктите при делението и другите детайли на бомбата, както и атомите; и молекулите на

околния въздух се възбуждат от силното нагряване, достигащо много висока температура. На този принцип са основани температурните източници на светлина, които ще разгледаме в следващата глава.

ГЛАВА III

ТЕМПЕРАТУРНИ ИЗТОЧНИЦИ НА СВЕТИЛНАТА И ЗАКОНИ ЗА ИЗЛЪЧВАНЕ ОТ ТЯХ

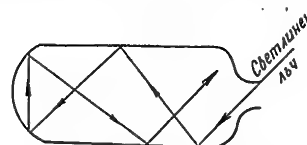
Понеже източникът на светлинното излъчване при атомния взрив се отнася към температурните източници, появява се необходимостта от разглеждане на тези източници и на законите за излъчването от тях.

1. ЗАКОНИ ЗА ИЗЛЪЧВАНЕ ОТ АБСОЛЮТНО ЧЕРНО ТЯЛО

Температурните източници на светлината изпускат светлинна енергия за сметка на нагряването им до висока температура. Такива източници са слънцето, обикновените електрически крушки (с жичка, която се нажежава) и др. Към температурните източници се отнася и източникът на светлинното излъчване, възникващ при атомния взрив. Поради това ще ги разгледаме по-подробно.

За установяване на законите за излъчване от температурни източници е въведено понятието абсолютно черно тяло. Както вече споменахме, под абсолютно черно тяло се разбира тяло, което поглъща напълно падащите върху него светлинни излъчвания, каквато и дължина на вълната да имат те. В природата няма тела с пълна поглъщателна способност. Обаче за изучаване свойствата на

температурните източници е създаден изкуствено модел на абсолютно черно тяло. Той представлява кухо кълбо или кух цилиндър (фиг. 24) с малък отвор и почернена вътрешна повърхност. Всеки лъч, влязъл в това тяло през малкия отвор, ще излезе от него след многократно отражение.



Фиг. 24. Модел на абсолютно черно тяло

Да допуснем, че поглъщателната способност на вътрешната повърхност е 90%. Тогава още след първото отражение отразеният поток ще бъде 10% от падащия, след второто отражение той ще спадне на 1% от падащия, а след третото — на 0,1%.

Ако след трикратно отразяване светлинният лъч излезе обратно, общата поглъщателна способност (отношението на погълнатия поток светлинна енергия към падащия) ще бъде равно на 0,99, т. е. близко до единицата. Най-много се приближават до абсолютно черното тяло платиновите сажди и бисмутовата чернилка, чиято поглъщателна способност е около 98%.

По такъв начин, ако през отвора влезе светлинен сноп, то поради многократното отразяване от вътрешните стени практически цялата светлинна енергия ще остане в цилиндъра (няма да излезе навън). Поради това именно абсолютно черно

тяло се нарича такова тяло, което поглъща напълно всички лъчи, които падат върху него.

Вътрешната повърхност на такова тяло има не само най-голяма поглъщателна способност в сравнение с другите тела, но тя притежава и най-голяма излъчвателна способност.

Ако вътрешните стени на тялото се нажежат с електрически ток или по-друг начин до побеляване, то поради многократното отразяване на светлината вътрешната повърхност на кухото тяло, гледана през отвора, придобива особено голяма яркост.

Теоретичните и опитните изследвания показват, че при всяка дадена температура абсолютно черното тяло излъчва най-много светлинна енергия в сравнение с всеки друг температурен излъчвател. Излъчването от абсолютно черно тяло представлява границата, към която повече или по-малко се приближават излъчванията от другите по-малко съвършени температурни източници.

Много нажежени тела, включително и газове, също имат значителна поглъщателна способност. Чрез многочислени опити е установено, че за светлинното излъчване от слънцето важат в главни линии същите закони, както за излъчването от абсолютно черно тяло. Известно е, че източник на светлинното излъчване от слънцето са нажежените газове, чийто повърхностен слой (фотосферата) има температура около 6000°K .

Както вече се каза в глава I, източник на светлинното излъчване при атомния взрив са също (както и при слънцето) нажежените пари и газове. Поради това с достатъчна за практиката точност може да се приеме, че светещата област при атомния взрив излъчва светлина както абсолютно

черно тяло. Ще разгледаме сега законите за излъчването от абсолютно черно тяло. Към тези закони се отнасят следните:

1. **Интензитетът (силата) на светлинното излъчване I_0** (количеството светлинна енергия, която излъчва за 1 секунда един квадратен сантиметър от площта на абсолютно черното тяло) е пропорционален на четвъртата степен на абсолютната температура $T^{\circ}\text{K}^1$ на тялото. Този закон носи названието закон на Стефан — Болцман и се изразява математично така:

$$I_0 = \sigma \cdot T^4 \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}},$$

където

σ е постоянен коефициент, равен на $1,37 \cdot 10^{-12} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}^4}$;

T — абсолютна температура на излъчващата повърхност в Келвинови градуси.

Този закон показва изключително голямото влияние на повърхностната температура на тялото върху неговата способност да излъчва светлинна енергия. Ако повърхностната температура на тялото се повиши два пъти, интензитетът се увеличава 16 пъти; при повишаване на температурата три пъти интензитетът се увеличава 81 път и т. н.

Пълното количество светлинна енергия $E_{\text{изл}}$ излъчена от цялата повърхност на излъчващото тяло за цялото време на светене t_c , се определя

¹ Абсолютната температура T се измерва по така наречената скала на Келвин от абсолютната нула ($t = -273^{\circ}\text{C}$) и се означава с $T^{\circ}\text{K}$. Преминаването от градусите на международната стогоградусна скала ($^{\circ}\text{C}$) към абсолютната температура (K) става по формулата $T^{\circ}\text{K} = (t + 273^{\circ}\text{C})$. Например

$$T = 6000^{\circ}\text{K} = 5727 + 273^{\circ}\text{C}.$$

по следната формула (ако размерите на тялото не се изменят по време на светенето)

$$E_{\text{изл}} = \sigma T^4 S t_e.$$

$E_{\text{изл}}$ се измерва обикновено в калории.

2. Спектралният интензитет на излъчването I_λ , т. е. количеството светлинна енергия в калории, която излъчва за 1 сек. 1 см² от повърхността на тялото в интервал от λ до $(\lambda+1)$ микрон дължини на вълните, се определя по формулата на Планк

$$I_\lambda = C_1 \cdot \lambda^{-5} \left[e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right]^{-1} \frac{\text{кал.}}{\text{см}^2 \text{сек. микрони}},$$

където λ е дължина на вълната в микрони;

T — температурата на повърхността на тялото в °K;

C_1 и C_2 — постоянни коефициенти, които са равни:

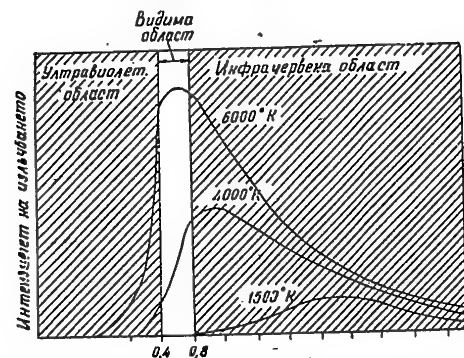
$$C_1 = 8,85 \cdot 10^3 \frac{\text{кал. микрони}^4}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}};$$

$$C_2 = 1,44 \cdot 10^4 \text{ микрони} \cdot \text{град.}$$

От формулата на Планк следва, че за абсолютно черно тяло спектралният състав на излъчването зависи само от температурата на тялото. Графиците на спектралния интензитет на излъчването, изчислени по формулата на Планк за различни повърхностни температури на абсолютно черно тяло, са показани на фиг. 25.

От графиците, дадени на фиг. 25, се вижда, че колкото е по-висока температурата на тялото,

толкова е по-голям интензитетът на излъчването във всяка част от спектъра и следователно толкова по-голяма е и общата енергия на излъчването. Освен това от графиците следва, че при увеличаване на температурата най-голямата стойност на спектралния интензитет (максимумът на



Фиг. 25. Графици за изменението на спектралния интензитет на излъчването за различни повърхностни температури на абсолютно черно тяло

всяка крива) се измества към по-късите вълни. Това явление е известно под названието **закон за изместването** или **закон на Вин**.

3. Съгласно закона за изместването дължината на вълната λ_m , при която интензивността на излъчването е най-голяма, зависи от абсолютната температура по следния начин:

$$\lambda_m = \frac{2886}{T} \text{ микрони.}$$

За различните температури се получават следните стойности на λ_m :

2000°K; 6000°; 8000°; 10 000°; 20 000°; 50 000°
1,44 μ 0,048 μ 0,36 μ 0,29 μ 0,14 μ 0,058 μ

С преместване максимума на кривата на излъчването се изменя и цветът на излъчването — от червен при ниски температури до бял при високи температури.

Въз основа на изследванията за разпределението на енергията в спектъра при различни температури може да се състави следната представа за излъчването на светлинна енергия от нагрети тела.

Телата излъчват енергия при всяка температура. При ниските температури се излъчват главно инфрачервени лъчи, които съответствуват на много дълги вълни; общото количество излъчена енергия е много малко. При повишаване на температурата се прибавят и лъчи, съответстващи на по-къси вълни; общото количество енергия се повишава и максимумът на излъчената енергия се премества към по-късите вълни. Едва при температура малко над 500° при общото увеличаване на излъчената енергия първите видими лъчи (червените) стават толкова интензивни, че започват да действуват на очите. Накрая, при температура над 1000°, започват да се виждат и виолетовите лъчи, появява се целият видим спектър, настъпва бяло нажежаване, а след това се появяват и ултравиолетовите лъчи.

Както се вижда от кривите на фиг. 25, излъчването във видимата област съставлява само малка част от цялата енергия, която се изпуска от светещото тяло.

Изобщо относително най-голямото видимо светлинно излъчване (около 45%) се получава при температура 6700°K. При повишаване на температурата над 6700°K значително нараства интензитетът на ултравиолетовите лъчи и в общото излъчване процентът на излъчването във видимата област отново започва да намалява.

По-горе бяха разгледани законите за излъчване от абсолютно черно тяло. Както вече беше отбелязано, в природата няма абсолютно черни тела. Законите за излъчване от реалните тела и законите за излъчване от абсолютно черно тяло не са едни и същи, обаче, както показват опитите, при всички тела в природата, които са източници на температурно излъчване, има пропорционалност между излъчвателната и поглъщателната способност на тялото за дадена дължина на вълната и дадена температура. Тази зависимост се определя от температурния закон за излъчването, който може да се формулира по следния начин: „При температурното излъчване отношението на спектралния интензитет на излъчването I_λ към спектралния коефициент на поглъщането A_λ за дадена дължина на вълната и дадена температура T е постоянна величина за всички тела в природата.“ Математично този закон може да се изрази така

$$\frac{I_\lambda}{A_\lambda} = B.$$

От дефиницията на абсолютно черно тяло следва, че за него $A_\lambda = 1$, поради което $B = I_\lambda$ и се определя по формулата на Планк. За всички други тела спектралният коефициент на поглъщане A_λ е по-малък от единица и поради това излъчвателната им способност е по-малка от излъчвателната

способност на абсолютно черно тяло при една и съща температура.

Ако за някое тяло коэффициентът A_λ е по-малък от единица и постоянен за всички дължини на вълните, такова тяло се нарича „сиво“. В природата няма тела, съвпадащи по свойства със сивите тела, но за ограничена област от дължини на вълните телата могат да бъдат близки до сивите. Практически „сив“ е пламъкът на въглеродородите, например на ацетилен. За сиво тяло разпределението на излъчената енергия съвпада с разпределението в спектъра на абсолютно черно тяло (при една и съща температура), само че интензитетът на излъчването е по-малък. За всички реални тела, които не са черни или сиви, поглъщателната способност A_λ зависи главно от дължината на вълната и температурата на тялото T . Например за волфрама поглъщателната способност е по-голяма за късите, отколкото за дългите вълни. В съответствие с това при волфрама интензитетът на излъчването се отличава от интензитета на абсолютно черно тяло по-малко за късите вълни, отколкото за дългите вълни. Ето защо волфрамовите излъчки се отличават по цвят от излъчките, които би изпускато абсолютно черно тяло: те са относително по-малко червени от излъчките на абсолютно черно тяло при една и съща температура.

Понякога практически е по-удобно да се работи не с истинската температура на излъчвателя, а с така наречената „цветова температура“, т. е. с тази температура на абсолютно черно тяло, при която излъчките му са близки по цвят до излъчките на дадения източник. Следователно за волфрама (и въобще за всички метали) цвятната температура е по-висока от истинската температура.

2. ТЕМПЕРАТУРНИ ИЗТОЧНИЦИ НА СВЕТИНА

Температурните източници на светлина може да се разделят на две групи: естествени и изкуствени. В слънчевата система най-мощният от естествените температурни източници на светлина е слънцето.

Според съвременните научни данни слънцето представлява нагорещено газообразно кълбо с температура на излъчващата повърхност около 6000° . Теоретическите пресметания дават основание да се предполага, че температурата в центъра на слънцето е около 20 милиона градуса при грамадно налягане.

Както е известно, източник на слънчевата енергия са термоядрените реакции на превръщане на водорода в хелий.

Диаметърът на слънцето е равен на 1 400 000 километра, т. е. по него може да се нанесе 115 пъти диаметърът на земното кълбо (диаметърът на земята е около 12 000 км).

Като се знаят температурата на слънчевата повърхност и размерите на слънцето, лесно може да се определят по първия закон интензитетът на светлинното излъчване и общото количество светлинна енергия, която се излъчва от цялата слънчева повърхност. За температурата на повърхността, равна на 6000° , интензитетът на излъчването е $I_0 = 1780 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{сек}$, а количеството светлинна енергия, което излъчва за 1 сек. цялата

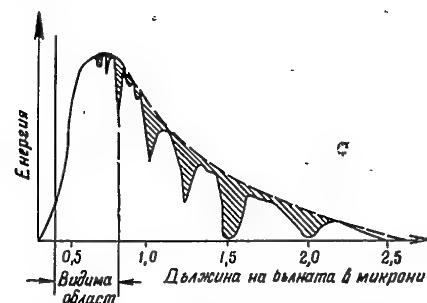
повърхност на слънцето, е около $4,4 \cdot 10^{26} \frac{\text{кал}}{\text{сек}}$. За да се получи толкова енергия на земята, би било необходимо всяка секунда да се изгаря в пещите на електростанциите такава маса каменни въглища,

която превъзхожда запасите от въглища в цялото земно кълбо.

Количеството топлина, която слънцето изпраща на земята, се характеризира с така наречената **слънчева постоянна**, т.е. с количеството топлина, която би падала за 1 минута на площ един квадратен сантиметър от земната повърхност, ако нямаше атмосфера, и ако тази площ е разположена перпендикулярно на слънчевите лъчи. Понастоящем се приема, че слънчевата постоянна е равна на $1,94 \text{ кал/см. мин.}$ В естествени условия количеството светлинна енергия, което идва на земята, е непостоянно и зависи от състоянието на атмосферата, от височината на слънцето над хоризонта и от ъгъла на падането на слънчевите лъчи върху площта. Най-голямата измерена стойност на слънчевата топлина в територията на СССР е $1,51 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$ (Тбилиси). В други пунктове са получени следните най-големи стойности на слънчевата топлина, падаща се на 1 см^2 за една минута: Ташкент — $1,50 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$, Москва — $1,48 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$, Павловск — $1,43 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$, Бухта Тихая — $1,30 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$. Най-продължителното наблюдение в света (редица непрекъснати записвания) за получаваната слънчева топлина принадлежи на СССР и е водено в Павловск.

Спектърът на нажежени, твърди и течни тела представлява непрекъснатата ивица, в която се съдържат едновременно всички вълни от видимата, инфрачервената и ултравиолетовата част на спектъра. Иначе изглежда спектърът на нажежен газ: той е линеен спектър и се състои от отделни линии (цветове), които имат строго определено място по скалата за дължините на вълните и са разделени от тъмни междини. Всеки газ има свой, присъщ само на него линеен спектър.

Какъв спектър има слънцето? На пръв поглед отговорът изглежда прост. Слънцето, както всички нагорещени газове, би трябвало да има линеен спектър. Обаче слънцето има не линеен, а непрекъснат спектър, който почти съвпада със спектъра на абсолютно черно тяло при температура 6000°K ,



Фиг. 26. Излъчвателен спектър на слънцето. В местата, означени с шрихи, слънчевата енергия се поглъща в атмосферата.

Разпределението на енергията по вълнови дължини в слънчевия спектър е показано на фиг. 26. В местата, означени с шрихи, слънчевата енергия се поглъща в атмосферата.

Защо слънцето има непрекъснат спектър? Обяснението е следното: слънцето представлява нажежено газообразно тяло, в което газовете са подложени на много голямо налягане. Поради това спектърът му, както спектрите на твърдите тела, има вид на непрекъсната ивица.

Оказва се, че спектрите на разредените газове или на газовете с малка плътност се състоят от отделни линии. Но щом налягането на такъв газ

се повиши, спектралните линии започват да се разширяват и да обхващат по-голям спектрален интервал (появяват се повече цветове). При много големи налягания, достигащи стотици и повече атмосфери, линейният спектър преминава в непрекъснат. Налягането във външните слоеве на слънцето достига 500 000 атмосфери, а в центъра — 120 000 000 000 атмосфери.

Все пак, макар и слънчевият спектър да е непрекъснат, той е прорязан от множество тъмни линии, наречени „Фраунхерови“ линии на името на Фраунхофер, който пръв ги е изучил. Същината на Фраунхеровите линии е била разгадана едва когато бил открит законът за поглъщането на светлината в светещи пари и газове. Според този закон всеки газ (пара) поглъща напълно определени лъчи, свойствени само за него. Това са лъчите, които газът (парата) излъчва в нажежено състояние. Спектърът на лъчите, идващи от слънцето, е непрекъснат. Но, преминавайки през слънчевата обвивка, която се състои също от нажежени газове (но по-малко горещи от слънчевата повърхност), лъчите отчасти се поглъщат от атомите на газовете в обвивката. Поради това ослабват лъчите с вълнови дължини, които се излъчват от тези нажежени газове. Ето защо в съответните места на слънчевия спектър се появяват тъмни линии (линии на поглъщане). Още на времето тъмните линии в слънчевия спектър дали възможност да се определят химическите елементи, които се намират в нажежените газове на слънчевата обвивка. Освен тъмните линии слънчевият спектър има и широки ивици в инфрачервената си област (защрихованите на фиг. 26), където лъчите се поглъщат от водните пари в земната атмосфера.

Обикновената електрическа крушка, създадена в началото на 70-те години на миналия век от забележителния руски електротехник А. Н. Лодигин, е понастоящем най-разпространеният изкуствен температурен източник на светлина. В нея, както е известно, нажежителната волфрамова жичка се нагрява от електрическият ток до температура на ярко светене и изпуска светлинна енергия. Подобно на абсолютно черно тяло при електрическата крушка, както при другите температурни източници, интензитетът на излъчването нараства силно с повишаване температурата на жичката. При съвременните електрически крушки температурата на жичката достига 3000°K. Спектърът на излъчването е непрекъснат.

Защо при нагряване телата светят?

На този въпрос не е трудно да се отговори. Както е известно от глава II, излъчването на светлина от атомите на всяко вещество става при възбуждането им. Освен това известно е, че атомите в молекулите и молекулите в телата се намират в постоянно движение. Движението е неразделно свойство на всички частици, на всяко вещество, на цялата материя, от която се състои вселената. От движението на тези частици се определя температурата на телата. Като нагряваме или охлаждаме каквото и да е тяло, ускоряваме или забавяме движението на неговите частици. За първи път тази мисъл е изказал великият руски учен М. В. Ломоносов. Движейки се, частиците постоянно се сблъскват една с друга. Ако температурата на тялото е малка, тези сблъсквания не нарушават обикновеното разположение на електроните около атома. Но какво става, ако нагреем жичката на електрическата крушка до висока температура, примерно до 1000°? При тази

температура волфрамовите атоми се движат много бързо и при сблъскването си изпитват силни удари. Тези удари не минават вече без последици за електроните в атома; външните електрони придобиват излишна енергия и преминават от по-близка орбита на по-далечна — атомът се „възбужда“. При преминаването им, обратно, от възбудено в нормално състояние се излъчва светлинна енергия с определена дължина на вълната (честота).

Многообразно е понастоящем използването на електрическата крушка. Тя осветява улици, заводи, жилища, играе голяма роля в техниката, медицината и т. н. Електрическата крушка може да се изработи с най-различна мощност — от 0,4 вата до 50 000 вата. Обаче колкото и да е ценна, тя има големи недостатъци.

Какви са тези недостатъци?

Електрическата крушка с нажежителна жичка се използва главно за осветление. Обаче не цялата енергия, която идва в нея, се превръща във видима светлина. Във видима светлина се превръщат само 7 — 13% от енергията, разходвана от крушката, останалата енергия се губи безполезно, тя се превръща главно в невидими инфрачервени и ултравиолетови лъчи.

Следователно електрическата крушка далеч не е икономична. А да се повиши икономичността ѝ е много трудно — нужно е да се повиши температурата на жичката. Но тя и без това вече се намира почти на границата на техническите възможности (при температура над 3000°K волфрамът се изпарява интензивно, което довежда до съкращаване трайността на крушката). Това наложило учените да работят усилено за създаване на нови източници на светлина.

Температурните светлинни източници, разглеждани по-горе, са основани върху преминаването на вътрешната ядрена енергия и на електрическата енергия в светлинна чрез топлинната енергия, която служи за междинно стъпало.

Днес са намерени форми на непосредствено преминаване на различните видове енергия в светлинна енергия. Съответните явления се обединяват от понятието луминесценция или „студено светене“.

Има много различни тела, които светят и без нагряване, като изпускат така наречената „студена“ светлина. Светят със „студена“ светлина или, както се казва, луминесцират фосфорът, сулфидите на някои метали и др.

Има и живи организми, които също изпускат „студена“ светлина, например светулките, някои дълбоководни риби, както и някои микроскопични организми, намиращи се в морските води, у които светенето се предизвиква чрез механично възбуждане — например от морското вълнение или от винтовете на корабите. Но във всички случаи светлината се ражда от частиците на веществото — атоми и молекули, приведени по един или друг начин във възбудено състояние.

Преди около 200 години великият руски учен М. В. Ломоносов, като изучавал естеството на полярните сияния, предположил, че причината за това забележително явление са електричните изпразвания във въздуха. Явлението полярно сияние се отнася към електролуминесценцията. То представлява светец разреден пласт въздух на височина десетки и стотици километри над земята, възбуден от слънчевите лъчи. По-късно, в XIX век, учените извършили многобройни опити за изучаване преминаването на електриче-

ския ток през газове, които довели до създаването на газове, а след това на луминесцентни лампи.

3. ИЗТОЧНИК НА СВЕТИЛННОТО ИЗЛЪЧВАНЕ ПРИ АТОМНИЯ ВЗРИВ

Както вече беше отбелязано, светлинният източник при атомния и водородния взрив е един, от видовете температурни светлинни източници. Източник при въздушния атомен взрив е светещото кълбо, а при надземния взрив — светещото полукълбо.

Както и слънцето, светещата област при атомния и водородния взрив представлява нажежени газове, получени при ядрената реакция. Тя се състои от изпаряващите се материали на самата атомна бомба, от разпадъчните продукти на атомния заряд и от въздуха, нагрят при взрива. Разликата между светещата област и слънцето се състои в това, че в слънцето ядрената реакция не престава ни за момент, поради което слънцето излъчва непрекъснато светлинна енергия в продължение вече на повече от четири милиарда години. Освен това, понеже ядрената реакция в слънцето е непрекъсната, температура на слънчевата повърхност остава винаги постоянна, равна на около 6000°.

При атомния или при термоядрения взрив светещата област има променливи размери и променлива повърхностна температура; след взрива размерите постепенно се увеличават до определена граница, а повърхностната температура се намалява. По-подробно върху това ще говорим в следващата глава.

За светещата област при атомния (водородния) взрив практически важат същите закони, както и за другите разгледани по-горе температурни източници — законите за абсолютно черно тяло.

ГЛАВА IV

СВЕТИЛННО ИЗЛЪЧВАНЕ ПРИ АТОМНИЯ ВЗРИВ

При атомния взрив се отделя огромно количество енергия и поради това в мястото на взрива температурата нараства на милиони, а даже и на десетки милиони градуси. Вследствие на тази огромна температура около една трета от цялата енергия, освободена при взрива, се отделя във вид на светлинно излъчване (по-точно лъчиста енергия), а останалата част — във форма на ударна вълна, радиоактивни излъчвания и топлинна енергия, която се отнася от нагреният облак.

Например за атомна бомба с тротилова еквивалент 20 000 тона във форма на светлинно излъчване се отделят приблизително 7 милиарда големи калории¹. С такова количество топлина може да нагреем от нула градуса до температурата на кипене 70 000 тона вода.

Известно е, че избухването на обикновените бойни припаси (бомби, мини, снаряди) също се съпровожда от светлинно излъчване, но то се различава съществено от светлинното излъчване при атомния взрив. Главната разлика между обикновения и атомния взрив се състои в това, че в първия случай общата енергия, освободена от единица маса взривно вещество, е милиони пъти по-малка. Поради това температурата в мястото

¹ Големата калория е равна на 1000 малки калории.

на взрива на обикновените бойни припаси достига само 4000 — 5000 градуса. При тази ниска температура енергията, която се отделя във форма на светлинно излъчване, е нищожна в сравнение с енергията на светлинното излъчване при атомния взрив.

Освен това известно е, че общото количество светлинна енергия, която излъчва всяко светещо тяло, зависи не само от температурата му, но е и право пропорционално както на площта на светещата повърхност, така и на времето, през което тялото свети. Понеже при обикновения взрив светещата област заема малък обем, а самото избухване е краткотрайно (хилядни части от секундата), то при него светлинното излъчване не причинява поражения.

Свършено друга е картината при атомния взрив.

При атомния взрив причина за разрушаването на съоръженията и поражаването на хората е главно ударната вълна. Обаче светлинното излъчване може да усилва значително действието на взрива, понеже предизвиква пожари по местността, нанася повреди на бойната техника и възпламенява постройки. Ето защо светлинното излъчване при атомния взрив е също поражаващ фактор.

За да се оцени правилно опасността от светлинното излъчване при атомния взрив, трябва да се разгледат по-подробно източниците на това излъчване. За тази цел трябва да установим преди всичко повърхностната температура и размерите на светещата област, а освен това и продължителността на светенето.

Ще напомним още веднаж, че под светлинно излъчване при атомния взрив се разбира излъчване

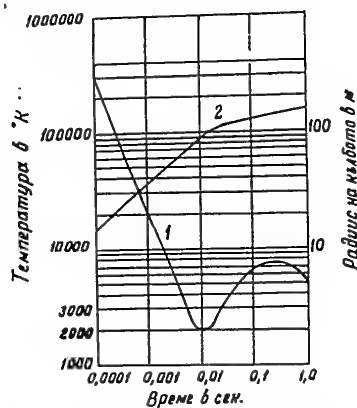
в инфрачервената, видимата и ултравиолетовата област на спектъра.

1. ТЕМПЕРАТУРА И РАДИУС НА СВЕТЕЩАТА ОБЛАСТ

Нека си припомним, че атомният взрив може да бъде произведен във въздуха; на повърхността на земята (водата) и под земята (водата). В съответствие с това различаваме въздушен, надземен (надводен) и подземен (подводен) взрив. В зависимост от вида на взрива външният изглед на взрива и характерът на пораженията са различни. Например при въздушния взрив радиоактивното заразяване на местността е по-малко, отколкото при надземния (надводния) или подземния (подводния) взрив. Обратно, светлинното излъчване може да не се смята за поражаващ фактор при подземния (подводния) взрив, но става един от основните поражаващи фактори при въздушния и надземния взрив. Във връзка с това ще разгледаме светлинното излъчване при въздушния и надземния атомен взрив.

При взрив на атомна бомба във въздуха се образува светеща област във форма на кълбо, което известно време след взрива се увеличава в страни до няколкостотин метра в зависимост от калибъра на атомната бомба. С увеличаване на светещата област повърхностната ѝ температура спада. Приблизителното изменение на температурата и на радиуса на огненото кълбо за атомна бомба с тротилов еквивалент 20 000 е показано на фиг. 27. На графика по хоризонталната ос е нанесено времето в секунди, а по вертикалната ос отлясно — радиусът на огненото кълбо в метри, а отляво — повърхностната им температура.

тура. От графика се вижда, че около една стотна част от секундата след взрива повърхностната температура на огненото кълбо намалява до 2000°K . Малко по-късно повърхностната температура отново се повишава и към момента $0,2 - 0,3$ сек. достига приблизително 8000°K , след което отново



Фиг. 27. Изменение на температурата (1) и радиуса (2) на огненото кълбо

постепенно намалява. За да си обясним този закон за изменение на температурата, ще разгледаме по-подробно процеса на образуването и развитието на огненото кълбо.

Казахме, че при взрива на атомната бомба температурата в мястото на взрива достига милиони градуси. При такава огромна температура не успялата да се отдели част от атомния заряд, обвивката и всички други детайли на бомбата

се изпаряват. Температурата на парите е също така много висока. Те изпускат излъчки, чийто спектър обхваща широк вълнов диапазон, включващ далечните (с голяма дължина на вълната) инфрачервени лъчи, видимата област, ултра-виолетовата област и рентгеновите лъчи. Най-голямо е обаче количеството на рентгеновите лъчи, които се поглъщат от въздушните пластове, заобикалящи непосредствено бомбата. Вследствие на това въздухът се нагрява до светене. Въздухът започва да свети (при наличие на азотни окиси и други примеси, образувани при взрива), щом температурата му достигне към 2000°K . При по-нататъшното покачване на температурата на въздуха той сам започва да изпуска излъчки, които се поглъщат от ненагнетите въздушни пластове.

Например при температура $30\,000^{\circ}$ въздухът вече започва да изпуска излъчки, голяма част от които се поглъщат от следващите въздушни пластове. По такъв начин излъчките от нажежените взривни продукти предизвикват посл до-вателен процес на нагряване на въздуха. Този процес протича толкова бързо, че след няколко микросекунди (милионни части от секундата) на мястото на взрива се образува светеща област във формата на кълбо, състоящо се от нажежени взривни продукти и въздух. Молекулите на тези вещества са разбити на атоми, а атомите са йонизирани. След $0,0001$ сек. радиусът на огненото кълбо нараства на около 15 м, а повърхностната температура достига около $300\,000^{\circ}\text{K}$. Във всички точки от огненото кълбо, включително и по външната повърхност, температурата е почти еднаква, понеже енергията може да се разпространява много бърже между всеки две точки на кълбото. Такова кълбо с еднаква температура във всички

точки се нарича **хомотермично кълбо**. Налягането на газовете на повърхността на кълбото се различава рязко от налягането и плътността на околния въздух. Вследствие на това огненото кълбо се разширява със скорост, значително по-голяма от скоростта на звука (340 м/сек), като свива околния въздух. Свиването се предава от първия въздушен пласт на следващите. Когато скоростта на предаване на енергията чрез излъчване стане по-малка от скоростта на разширяване на газовете, образувачи светещата област, във въздуха възниква сгъстителна вълна, наречена ударна вълна.

Предната граница на сгъстителната (ударната) вълна се нарича фронт на ударната вълна. В зависимост от разстоянието до центъра на взрива и калибъра на атомната бомба налягането, плътността и температурата на въздуха във фронта на ударната вълна се увеличават рязко в сравнение с околния въздух. В началния момент на образуването на огненото кълбо скоростта на лъчистото нагряване на въздушните пластове и скоростта на фронта на ударната вълна са еднакви, поради което фронтът на вълната съвпада с повърхността на хомотермичното кълбо. След спадане на повърхностната температура на кълбото до 300 000°K скоростта на фронта на ударната вълна става по-голяма от скоростта на лъчистото нагряване на въздушните пластове. Фронтът на ударната вълна излиза пред повърхността на хомотермичното кълбо. Обаче температурата във фронта на ударната вълна, обусловена от свиването, макар и по-ниска, отколкото в хомотермичното кълбо, е толкова висока, че въздухът в нея свети.

И така след изминаване на около 0,0001 сек. от началния момент на взрива около хомотермич-

ното кълбо се образува бързо увеличаващ се пласт от светещ, но по-малко нагорещ въздух, образуван от фронта на ударната вълна. Понеже фронтът на ударната вълна свети, той представлява не само източник на светлинно излъчване, но и поглъща силно преминаващите през него излъчки, т. е. служи като своеобразен екран (преграда), който не пропуска част от енергията, идваща от повече нагрялото хомотермично кълбо. За това спомагат и азотните окиси, които се образуват във фронта на ударната вълна при нагряване на въздуха до висока температура. В някои чуждестранни източници например се казва, че при взрив на атомна бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона се образуват около 100 тона азотен двуокис, който представлява сивокафяв газ. Азотните окиси са непрозрачни за видимите лъчи. Следователно от момента 0,0001 сек. повърхността на светещото кълбо става фронтът на ударната вълна.

С разпространяването на фронта на ударната вълна налягането и температурата в него спадат и накрая настъпва момент, когато налягането и температурата стават толкова ниски, че въздухът преставя да свети. Това съответствува на време приблизително 0,01 сек. и на минимума на кривата, дадена на фиг. 27, т. е. на температура във фронта 2000°K. Откъслека от време между началния момент на взрива и момента 0,01 сек. ще наричаме първи период от развитието на огненото кълбо.

Какво става по-нататък, след като фронтът на ударната вълна преставя да свети? От този момент започва вторият период от развитието на светещата област. Понеже въздухът във фронта на ударната вълна не може вече да излъчва, а следователно

и да поглъща излъчки, той постепенно става прозрачен. Поради това фронтът на ударната вълна престава да бъде преграда за излъчките от вътрешната, повече нагрята централна област (кълбо) на взрива, която сега става видима, след като достигне радиус около 100 м. След минимума температурата на огненото кълбо отново започва да се покачва, докато се изравни с температурата на хомотермичното кълбо. Това довежда до получаване на максимална температура, равна на 7000 — 8000°K. След максимума от момента 0,2 — 0,3 сек. температурата на светещата област започва отново да спада вследствие на загубата на енергия поради излъчването и поради охлаждането на нагретите газове в огненото кълбо в резултат на разширението му. През този период от развитието на огненото кълбо размерите на кълбото се увеличават за сметка на лъчистото нагряване на въздушните пластове. Приблизително една секунда след взрива температурата на огненото кълбо се намалява до 5000°K, а размерите на кълбото стават почти максимални; радиусът му достига около 150 м (всички данни се отнасят за бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона).

Огненото кълбо свети около 3 сек. За това време радиусът на огненото кълбо достига 200 м и повече. В зависимост от калибъра на атомната бомба огненото кълбо достига в момента на максималното си разширение няколкостотин и даже няколко хиляди метра в диаметър.

С разширяването на светещата област плътността на газовете в нея се намалява и става по-малка от плътността на околния въздух. Поради това светещата област се вдига бързо нагоре подобно на балон. Скоростта в началото на издигането достига 100 м в сек. Около 10 сек. след взрива

светещата област напълно угасва. В този момент тя се намира приблизително на височина 450 м над точката на взрива. Образува се въртоп, който съдържа изстиващи газове, водни пари и изсмукван от земята прах. Прахът и азотният двуокис придават на облака сивкав оттенък. Количеството прах в облака зависи от височината на атомния взрив. Ако огненото кълбо допира земята, изпарява се и се отнася от него значително количество пръст. Това може да се илюстрира със следните цифри.

Необходимата енергия за нагряването и изпаряването на пясъка, който може да се счита типичен представител на съставните части на почвата, е равна на 2700 кал/г. Следователно, ако 5% от енергията на атомната бомба (тротилов еквивалент 20 000 тона) се изразходват за изпаряване на почвата, в огненото кълбо ще се намират в газообразно състояние около 360 тона пясък. Скоростта на издигането на облака зависи от количеството енергия, отделена при взрива във форма на светлинно излъчване, от температурата и плътността на околните въздушни слоеве и от скоростта и посоката на вятъра.

Издиганият се след облака във вид на стълб прах му придава характерната гъбовидна форма. Като достигне височина 10—15 км, облакът се разширява в страни. Облакът съдържа огромно количество радиоактивни продукти от взрива, поради което става източник на радиоактивни излъчвания. С течение на времето той се разсейва, а радиоактивните продукти падат частично на земята и я заразяват. По развитието на светещата област надземният взрив не се различава от въздушния. Разлика има във външния изглед на взрива. При надземния взрив, както вече се каза в глава I,

се появява светещо полукълбо вместо кълбо. Нажежените взривни продукти имат много висока температура и при допир със земята разтопяват горния ѝ пласт. Разтопената почва се смесва с радиоактивните продукти от делението, разхвърля се от ударната вълна и заразява местността. След изстиването на пръстта се образува радиоактивна сгурия. Поразяващото действие на светлинното излъчване при земния взрив е по-малко, отколкото при въздушния взрив, тъй като част от светлинната енергия отива за разтопяване на почвата, а друга част се поглъща от праха, повдигнат от ударната вълна.

При въздушен взрив на атомни бомби с по-голям калибър или на водородна бомба се образува светеща област също във форма на кълбо, но с по-големи размери и по-продължително светене, отколкото при взрив на атомна бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона. Ориентировъчно може да се приеме, че радиусът на огненото кълбо е пропорционален на кубичния корен от тротиловия еквивалент. Следователно, ако е известен максималният радиус на огненото кълбо (200 м) за атомна бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона, може да се намери радиусът на огненото кълбо на атомна бомба с какъвто и да е калибър. Да изчислим например радиуса на огненото кълбо на водородна бомба със 100 пъти по-голяма мощност (тротилов еквивалент 2 милиона тона). Като извлечем кубичен корен от отно-

шението на тротиловите еквиваленти ($\sqrt[3]{100}$), ще получим числото 4,65. Като увеличим 4,65 пъти радиуса на огненото кълбо на атомната бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона, ще получим

радиус на огненото кълбо на водородната бомба около 900 м.

И така при атомния и водородния взрив източник на светлинно излъчване е светеща област във форма на кълбо (полукълбо) с изменяща се в отделните моменти повърхностна температура. Размерът на това кълбо също се изменя, като максималната му стойност зависи от стойността на тротиловия еквивалент.

Сега ще определим пълната енергия, излъчвана от огненото кълбо в околното пространство.

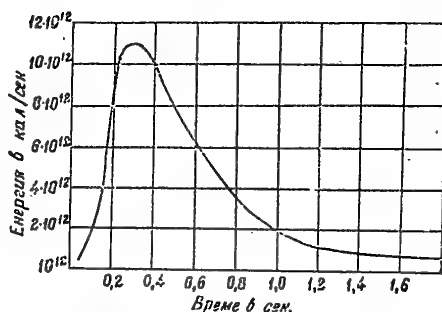
2. ПЪЛНА ЕНЕРГИЯ, КОЯТО ИЗЛЪЧВА ОГНЕНОТО КЪЛБО

Количествена оценка на излъчването от което и да е светещо тяло, подчиняващо се на законите за излъчване от абсолютно черно тяло, може да се направи лесно, ако са известни температурата и повърхнината на това тяло, както и продължителността на светенето.

Тази оценка се прави особено лесно, ако температурата и повърхнината на тялото остават неизменни в процеса на светенето. В този случай пълната енергия, която излъчва огненото кълбо, се намира като произведение от интензитета на излъчването за единица площ от повърхността на кълбото и продължителността на светенето. Обаче в нашия случай и интензитетът, и повърхнината на кълбото се изменят в процеса на атомния взрив. Тук изчисленията се правят по отделни кратки откъслечи от време, за които температурата и повърхнината на кълбото могат да се приемат за постоянни. За да се определи пълната енергия, която се излъчва през цялото време, докато огненото кълбо свети,

събират се стойностите на енергията, изчислени за отделните откъслечи от време.

За пример ще изчислим пълната енергия, която излъчва огненото кълбо при взрив на атомна бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона. Въз основа на графиците за изменение на температурата



Фиг. 28. Изменение на енергията, която се излъчва от цялата повърхност на огненото кълбо

и радиуса на огненото кълбо, дадени на фиг. 27, и като използваме първия закон за излъчване от абсолютно черно тяло, построяваме кривата на изменението на светлинната енергия, излъчвана от цялата повърхност на огненото кълбо. Тази крива се вижда на фиг. 28. На фиг. 28 по хоризонталната ос е нанесено времето в секунди, а по вертикалната — количеството светлинна енергия, излъчвана от цялата повърхност на огненото кълбо във всеки даден момент. Площта, ограничена от кривата и хоризонталната ос, ще даде пълното количество светлинна енергия,

която излъчва огненото кълбо през време на светенето. За атомна бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона това количество е приблизително 7 милиарда големи калории.

Като се използва кривата, показана на фиг. 28, лесно може да се изчисли количеството енергия, излъчвана от огненото кълбо в който и да е откъслек от време t . За тази цел е потребно да се пресметне площта, лежаща над него. Тези пресмятания дават възможност да се намери времето след взрива, през което се излъчва от огненото кълбо основното количество светлинна енергия. Това време трябва да се знае с оглед на правилната организация на противоатомната защита.

Направените по този начин пресмятания въз основа на кривата, показана на фиг. 28, дават възможност да се стигне до следните важни за практиката изводи:

1. Въпреки че в първия момент след взрива (до $t = 0,01$ сек. — първи период от развитието на огненото кълбо) повърхностната температура на огненото кълбо е много голяма, процентът излъчвана светлинна енергия за това време спрямо общото количество светлинна енергия, която се излъчва през цялото време на светене, е малък и съставлява приблизително 1%. Това се обяснява с кратковременността на първия период.

2. Почти цялата светлинна енергия при атомния взрив се излъчва от огненото кълбо през следващия (втория период) от неговото развитие, като главната част (80—85%) от светлинната енергия се излъчва през първата секунда след взрива, а останалата част (20—15%) се излъчва през времето от 1 до 3 сек. след взрива.

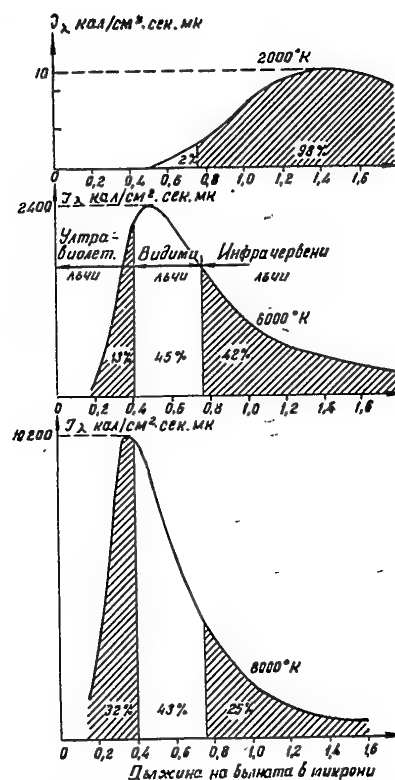
3. СПЕКТЪРЪТ НА СВЕТИЛНИНОТО ИЗЛЪЧВАНЕ

В предишния раздел установихме, че почти цялата (99%) светлинна енергия при атомния взрив се излъчва през времето от $t = 0,01$ сек., до $t = 3$ сек., а 80—85% от нея се излъчва за времето от $t = 0,01$ сек. до $t = 1$ сек. след началния момент на взрива. Въз основа на графика за изменение на температурата на огненото кълбо, даден на фиг. 27, лесно е да се пресметне какви повърхностни температури има през това време огненото кълбо. Тези температури ще се намират в границите от 2000°K до 7000°K — 8000°K. Обаче ако е известна повърхностната температура на кълбото, по формулата на Планк може лесно да се намери и спектралното разпределение на енергията.

На фиг. 29 е показано спектралното разпределение на светлинната енергия за температури 2000°, 6000° и 8000° K.

На фигурите по осите е нанесено: по хоризонталната ос — дължината на вълната в микрони, по вертикалната — количеството светлинна енергия, която се излъчва за една секунда от един квадратен сантиметър повърхност, пресметната за едно деление от скалата за дължините на вълните (за 1 микрон), т. е. спектралният интензитет на излъчването I_λ . Площта, ограничена от хоризонталната ос и кривата, дава количеството светлинна енергия, която излъчва за една секунда един квадратен сантиметър от повърхността на огненото кълбо, т. е. дава интензитета на излъчването I_0 .

От посочените криви може да се направи изводът: колкото е по-голяма повърхностната температура на огненото кълбо, толкова по-голяма



Фиг. 29. Спектрално разпределение на енергията за различни повърхностни температури на огненото кълбо

част от светлинната енергия се излъчва в ултравиолетовата област. За пример в таблицата е показано съотношението между количествата енергия в различните части на светлинния спектър при различни повърхностни температури на огненото кълбо.

Повърхностна температура в °K	Ултравиолетово излъчване	Видимо излъчване	Инфрачервено излъчване
2000	Няма	2%	98%
4000	2%	28%	70%
6000	13%	45%	42%
8000	32%	43%	25%

От таблицата се вижда, че в спектъра на огненото кълбо влизат и трите части на светлинния спектър. Обаче ако се вземе предвид, че повърхностната температура на огненото кълбо, когато се изпуска в околната среда главната част от светлинното излъчване (80—85%), не надминава 8000°K, може да се заключи, че в спектъра преобладават видимите и инфрачервените лъчи.

Кои части от спектъра се съдържат в излъчките на огненото кълбо през първите моменти след взрива (през първия период), когато повърхностната му температура е десетки и даже стотици хиляди градуси? Ако за тези температури се построят кривите на разпределението на светлинната енергия по вълнови дължини по начин, подобен на начина за построяване на кривите, показани на фиг. 29, ще се окаже, че главна част от излъчките са ултравиолетови лъчи с такива дължини на вълната (по-малки от 0,186 микрона), които напълно се поглъщат от въздуха около

мястото на взрива. Например при повърхностна температура на светещата област 30 000°K тези лъчи съставляват около 70% от енергията, а останалите 30% се падат на ултравиолетовата (с дължина на вълната над 0,186 микрона) и видимата част на спектъра. При повърхностна температура на огненото кълбо 50 000° K и нагоре почти цялото излъчване има дължина на вълната под 0,186 микрона, т. е. то се поглъща почти напълно от въздуха. На останалите части от спектъра се пада много малък процент и колкото е по-висока повърхностната температура на огненото кълбо, толкова този процент е по-малък. Следователно в първия период от развитието на огненото кълбо почти цялото излъчване влиза в ултравиолетовата част на спектъра, която се поглъща от въздуха.

Ще установим сега какъв състав имат излъчките на огненото кълбо през последния период от развитието му (след изминаване на повече от 1 сек. от началния момент на взрива), когато все още се излъчват 15—20% от светлинната енергия. Понеже повърхностната температура на огненото кълбо през този период не е по-голяма от 5000°K, светлинната енергия се излъчва главно във вид на инфрачервени лъчи.

Като анализираме изложеното в този параграф, идваме до извода, че в първия период от развитието на светещата област в спектъра преобладава късовълновата ултравиолетова част на светлинната енергия, обаче по количество тя не надминава 1% от пълната излъчвана енергия. Обратно, главната част от светлинната енергия на атомния взрив се излъчва през по-късния (втория) период от развитието на светещата област, когато в спектъра преобладават видимите и инфрачерве-

ните лъчи. Трябва да се отбележи, че по среден състав спектърът на светлинното излъчване при атомния взрив прилича на слънчевия спектър.

4. СВЕТИЛНИ ИМПУЛСИ

Главният белег, определящ поразяващото действие на светлинното излъчване при атомния взрив, е количеството светлинна енергия, която се пада на един квадратен сантиметър осветена повърхност, перпендикулярна на посоката на излъчването за цялото време, през което огненото кълбо свети. Това количество светлинна енергия се нарича **светлинен импулс**. Големината на светлинния импулс зависи от:

- количеството излъчена от огненото кълбо светлинна енергия през цялото време на светене $E_{изл}$. Тъй като във форма на светлинно излъчване се отделя напълно определена част (една трета) от цялата енергия на атомния взрив, то големината на светлинния импулс зависи следователно от калибъра на атомната бомба;
- разстоянието от осветената повърхност до центъра на атомния взрив;
- състоянието на атмосферата в момента на взрива;
- вида на взрива (надземен и въздушен).

Светлинното излъчване се разпространява праволинейно. Ако около светещата област опишем сфера с радиус R (фиг. 30), енергията, която излъчва огненото кълбо през цялото време на светене $E_{изл}$, без да вземаме предвид загубата на енергията в атмосферата, ще премине напълно през сферата, чиято повърхнина е

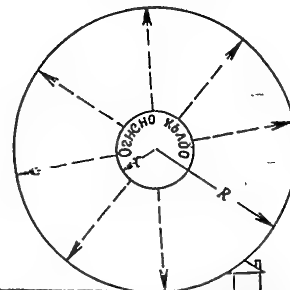
$$S = 4 \pi R^2 \text{ [cm}^2\text{]}.$$

Следователно на един квадратен сантиметър от тази повърхност ще се падне енергия, равна на

$$U = \frac{E_{изл}}{4 \pi R^2} \frac{\text{кал}}{\text{cm}^2}.$$

Това количество енергия е прието да се нарича светлинен импулс.

Светлинният импулс в този случай се изразява в калории на квадратен сантиметър (кал/cm^2).



Фиг. 30. Ако имаме загуба на енергия в атмосферата, цялата излъчена от огненото кълбо енергия ще премине през сфера с радиус R .

Ако атмосферата не би отнемала част от светлинната енергия, пресмятането на светлинния импулс за което и да е разстояние от центъра на взрива би било много просто. Да допуснем, че е необходимо да се намери светлинният импулс за атомна бомба с тротилово еквивалент 20 000 тона на разстояние 1 км, 2 км и 3 км. Тогава в уравнението за светлинния импулс трябва да поставим стойност на енергията $7 \cdot 10^{12}$ кал. и квадратите на разстоянието (последователно) 10^{10} , $4 \cdot 10^{10}$, $9 \cdot 10^{10}$.

По този начин ще получим следните стойности на светлинния импулс: за един километър — 56 кал/см^2 , за два километра — 14 кал/см^2 , за три километра — $6,2 \text{ кал/см}^2$. Такива биха били светлинните импулси, ако нямаше ослабване на светлинната енергия в атмосферата. Обаче на практика при преминаването на светлинната енергия през атмосферата тя винаги ослабва повече или по-малко. Ще разгледаме този въпрос малко по-подробно.

5. ОСЛАБВАНЕ НА СВЕТИННАТА ЕНЕРГИЯ ПРИ ПРЕМИНАВАНЕТО И ПРЕЗ АТМОСФЕРАТА

Обвиващият земята газообразен слой се нарича атмосфера. Ако извършим химичен анализ на сух въздух, взет от близките до повърхността на земята въздушни пластове, ще намерим, че той се състои от: 78,09% азот, 20,95% кислород, 0,93% аргон, 0,03% въглероден двуокис и други газове, чистото количество е нищожно: неон, хелий, озон. Този състав на въздуха е твърде постоянен.

Но в атмосферата има винаги и вода в газообразно състояние (водни пари), изпаряваща се от повърхността на океаните, моретата, реките и листата на растенията. Макар количеството им в атмосферата да не е голямо (то не може да надмине 4%), водните пари са главната причина за образуването на омарата, мъгли и облаци, от които падат дъжд и сняг. Докато парата запазва своите свойства си на газ, тя е прозрачна (освен за инфрачервените лъчи) като въздуха, поради което влияе малко върху прозрачността на атмосферата. Но щом температурата на въздуха почне да пада, парата се превръща във водни капки или, както се казва, кондензира се. Във въздуха се образуват

съвсем дребни, невидими с просто око водни капчици. Най-малките водни капки, които плават във въздуха, имат размери около 0,5 микрона. Натрупването на такива капки във въздуха образува омарата. При омарата видимостта обикновено превишава 1 км (от 1 до 10 км).

При натрупване на по-големи капки във въздуха (с диаметър 5—10 микрона) се образуват мъгли. В тихи вечери над ливадите, реките, низините и овразите често се образува ниска мъгла. Тя се появява в тези места, защото там въздухът се охлажда дотолкова, че вече не може да задържа в невидимо състояние предишното количество водни пари и те се съгъстват във водни капки — в мъгла. Колкото е по-гъста мъглата, толкова повече капки се падат на единица обем от въздуха, толкова по-лошо се виждат далечните предмети. Видимостта в мъгла е по-малка от 1 км. При много гъсти мъгли видимостта понякога се ограничава до няколко метра. Такива мъгли се образуват обикновено край моретата и океаните. Във вътрешността на континентите гъстите мъгли са рядко явление.

Облаците са също мъгли, но събрани в компактна маса на известна височина над земята. Облаците, също както мъглите, се образуват при охлаждането на топлия въздух, който се издига от земята. Те се състоят главно от капки с радиус 5—10 микрона. Когато самолет навлезе в облак, летецът се оказва сред гъста бяла мъгла, през която нищо не се вижда ни надолу, ни встрани, ни нагоре. Ако самолетът е голям, понякога е трудно да се видят дори краищата на крилата му.

Капките, които образуват мъглата и облаците, са толкова малки и леки, че могат дълго време да се носят във въздуха, без да падат на земята.

Ако парите продължават да се съгъстват, настъпва момент, когато капките стават толкова големи, че не могат да се задържат в атмосферата, а започват да падат постепенно надолу. Тогава почва да ръми. Колкото по-големи стават капките, толкова по-бързо падат надолу. Силният проливен дъжд дори бие болезнено в лицето, защото едрите капки, от които се състои, падат на земята с голяма скорост. Диаметърът на капките при по-слаб, дребен дъжд е около 0,2 мм, а при силен дъжд достига до 5 мм.

През зимата се образуват ледени кристалчета. Постепенно нараствайки при по-нататъшна кондензация на парите, те се превръщат в снежни парцали, които падат на земята. През време на снежна виелица поради завесата от снежни парцали често не могат да се видят и най-близките предмети, а видимостта става толкова лоша, че даже се затруднява движението пеша. На всички са известни случаи, когато пътник, застигнат от снежни виелици, загубва пътя, кръжи с часове на едно и също място и понякога замръзва буквално на няколко крачки от своя дом, който по никакъв начин не може да види през плътната снежна завеса.

Не само водата в течно или твърдо състояние може силно да понижи прозрачността на въздуха. Различните твърди частици — малки песъчинки, прах, дим и газове от промишлените предприятия — могат също да причинят намаляване на видимостта. Заводските комини изхвърлят в атмосферата огромно количество неизгорели въглеродни частици — сажди. На всички е известно, че през зимата около големите промишлени предприятия снегът се покрива със сажди и става черен.

Изчислено е, че в Лондон всеки ден се изхвърлят в атмосферата повече от 100 тона сажди, а за една година над цяла Англия се изхвърлят във въздуха стотици тонове сажди.

В атмосферата постоянно се намира огромно количество прах. Откъде идва този прах? Част от него попада в атмосферата от междупланетното пространство. Това е така нареченият космичен прах. Понякога космичният прах пада на земята в голямо количество.

Друг източник на прах в атмосферата е изригването на вулканите. Например при изригването на вулкана Кракатау (в Зондския пролив) в 1883 г. във въздуха били изхвърлени около 18 000 куб. км прах и пара с тегло към 36 милиарда килограма. Тази смес се е носила във въздуха около две години и е падала постепенно на земята. При изригването на вулкана Кутмай (в Аляска) на 6 юни 1912 г. вулканичният прах покрил земята с пласт, дебел 30 см, на разстояние 150 км от вулкана.

Докато космичният и вулканичният прах имат временен и местен характер, то огромното количество прах попада в атмосферата от почвата даже при слаб вятър. Особено много прах се намира във въздуха над степите и особено над пустините, където растителността изгаря. Достатъчно е да подухне слаб вятър и от нажежената повърхност на земята се издигат стълбове прах. При силен вятър във въздуха се издига не само прах, но и доста едър пясък. Бурите в пустините се съпровождат с истински пясъчни виелици; тогава прахът и пясъкът, издигнати нагоре, покриват не само земята, но и затъмняват слънцето — въздухът става толкова непрозрачен, че на няколко крачки не може нищо да се види.

Прахът, вдигнат от пустинните ветрове, може да се пренесе на огромни разстояния. Известно е, че прах от африканските пустини понякога достига Централна Европа. В СССР прахът от крайкаспийските пустини се отнася от югоизточните ветрове и предизвиква характерното явление „помоха“¹ даже в централните райони в страната.

Големите градове и заводи винаги са обвити в завеса от мръсен въздух. В нея има и уличен прах, и бензинови пари от автомобилите, но най-много е димът, който изхвърлят многобройните фабрични комини. В тази наситена със сажди, прах и различни газове атмосфера влагата се съгъства много лесно, поради което в големите градове падат по-често мъгли, отколкото в селата. Това пречи не само на работата на градските аеропристанища, но и на осветяването на улиците и домовете с дневна светлина.

И така въздушната обвивка на земята — атмосферата — е сложна смес с почти неизменно съотношение на основните газове, но с много непостоянно количество различни примеси. Непостоянният състав на примесите се проявява особено силно в близкия до земята въздушен пласт, защото именно отдолу попадат във въздуха прах, газове, дим, мъгла и т. н. Колкото по-голяма е височината, толкова количеството на примесите намалява. Например броят на прашинките в един кубичен см въздух на различни надморски височини е следният: на 100 м около 45 000, на 1000 м — 6000, на 6000 м — 20.

¹ Помоха (мъгла) — потъмняване на атмосферата, предизвикано от издигнатите във въздуха твърди частици (прах, соли и т. н.).

Както вече беше казано по-горе, при преминаването си през атмосферата светлинната енергия ослабва.

На какво се дължи ослабването на светлинната енергия? Когато минава през атмосферата, светлинната отчасти се **разсейва** и отчасти се **поглъща**. **Разсейване** се нарича отклоняването на светлинните лъчи от праволинейната им посока, предизвикано от частиците, намиращи се в атмосферата. Такива частици са газовите молекули, които влизат в състава на въздуха, капките на мъглата, прашинките и т. н.

Разсейването е много сложно явление. Срещайки по пътя си частица, светлинният лъч се отразява от нея, попада на друга частица и се отразява втори път. Отраженият два пъти лъч отново попада на частица, отразява се трети път и т. н. Точното пресмятане на тези отражения е много трудна математична задача. Тук може да отбележим, че разсейването зависи от съотношението между радиуса на частицата и дължината на светлинната вълна. Ако радиусът на частицата е много по-малък от дължината на светлинната вълна (разсейване от молекулите на въздуха — молекулно разсейване), разсейването се пресмята по едни закони и в този случай инфрачервените лъчи се разсейват значително по-малко от ултравиолетовите: в ултравиолетовата част на спектъра разсейването от молекулите на въздуха достига до 9% (при изминат от светлината път 1 км), а в инфрачервената област разсейването е почти 10 пъти по-малко. Поглъщането на светлинната енергия от молекулите на въздуха е много малко и може практически да се пренебрегне.

Ако радиусът на частицата е приблизително равен на дължината на светлинната вълна (за

видимата част на спектъра такива са частиците на омарата), разсейването се пресмята по друг закон и тук то е най-голямо при дължина на светлинната вълна, равно на радиуса на частицата. Ако радиусът на частицата е много по-голям от дължината на светлинната вълна (мъгла, дъжд, сняг), разсейването за всички части от светлинното излъчване (видимата, ултравиолетовата и инфрачервената) е почти еднакво.

При преминаването си през атмосферата светлинните излъчки се поглъщат от пращинките, водните пари и молекулите на кислорода, въгледвуокиса и озона. Погълнатата светлинна енергия преминава в топлина, която нагрява въздуха. На фиг. 31 са показани нивите на поглъщането в различните части на спектъра, които се наблюдават при преминаване на светлинните излъчки през атмосферата. От фиг. 31 следват изводите:

а) Ултравиолетовото лъчение с дължина на вълната под 0,186 микрона се поглъща напълно от кислорода на въздуха (достатъчно е кислородният пласт да има дебелина 1 м).

Следователно в спектъра на светлинното излъчване при атомния взрив няма ултравиолетови лъчи с дължина на вълната, по-малка от 0,186 микрона.

б) Ултравиолетовото лъчение с дължина на вълната под 0,29 микрона се поглъща силно от озона (триатомен кислород — O_3). Например в слънчевия спектър, получен на повърхността на земята, не се съдържат ултравиолетови лъчи с дължина на вълната под 0,29 микрона, понеже те се поглъщат напълно от озона във високите атмосферни пластове. Благодарение на това съществува в атмосферата особен топъл пласт (според някои данни температурата му е около

+35°) на височина 40—55 км, където ултравиолетовите лъчи току-що влизат в пласта озон.

Много ли озон се съдържа в горните атмосферни пластове? Оказва се, че твърде малко. Ако можехме да отделим всичкия озон и да го съгъстим до налягане 1 атмосфера, би се получил



Фиг. 31. Ивици на поглъщане светлинното излъчване в атмосферата от кислорода, озона, водните пари и въгледвуокиса

озонов пласт с дебелина 3 мм. Най-много озон се намира на височина 20—25 км.

Много ли озон има близо до земята? В приземните въздушни пластове се съдържа незначително количество озон (0,000003%). Намерено е, че в Източна Европа той би образувал пласт с дебелина 0,009 мм при дебелина на въздушния пласт 1 км, а в пробите, взети на височини 10 и 14 км — съответно 0,04 и 0,047 мм на километър.

Ще разгледаме накратко въпроса, в каква степен озонът поглъща светлинните излъчки при атомния взрив.

Може категорично да се каже, че при атомния взрив атмосферният озон поглъща несъществена част от светлинните излъчки. Обаче при атомния

взрив се образува голямо количество озон поради въздействието на гама-лъчите, рентгеновите лъчи и ултравиолетовите лъчи (във вълновия обхват от 0,13 до 0,175 микрона) върху кислорода на въздуха. Въздействието на указаните лъчи се изразява в разпадане на кислородната молекула в кислородни атоми, които на свой ред се съединяват с други кислородни молекули и образуват озон. Под влиянието на високите температури образуваният озон отчасти се разпада, отчасти се изразходва за окисляване на органичните вещества, които във вид на прах (особено много такъв прах се издига при атомния взрив) винаги се намират в атмосферата, и отчасти се разрушава при сблъскването с кислородните атоми. Голяма част от озона отива за поглъщане на ултравиолетовите лъчи с дължина на вълната под 0,29 микрона. Ивици на поглъщане, дължащи се на озона, се наблюдават и в инфрачервената част на спектъра. Обаче окончателни данни за поглъщането на ултравиолетовото лъчение при атомния взрив от озона е невъзможно да се дадат. В чуждестранната литература има само откъслечни сведения¹, според които на разстояния от центъра на атомния взрив, по-големи от 9—16 км, вече изобщо не се откриват излъчки с дължина на вълната под 0,3 микрона.

Това се потвърждава от опитите, описани в чуждестранната литература, с животни, подложени на облъчване при атомен взрив през филтри, пропускащи само ултравиолетовата част на спектъра. Обгарения от ултравиолетовата част на спектъра не е имало. С тези опити се устано-

¹ „The Effects of Atomic Weapons“, New-York — London, 1950.

вява, че обгаренията, получени през филтри, пропускащи само видимата или само инфрачервената част, не се различават по интензитет (при еднакви други условия), макар в някои случаи обгаренията, предизвикани от действието на видимата светлина, да са по-силни.

в) Има много ивици на поглъщане в инфрачервената област на спектъра, които се дължат главно на водните пари и въгледвуокиса.

От изложеното е лесно да се заключи, че да се изчисли ослабването на светлинната енергия при преминаването ѝ през атмосферата е много сложна задача.

Всяка област от лъчението (ултравиолетова, видима и инфрачервена) се разсейва и поглъща различно.

За да се включи и ослабването на светлинната енергия при преминаването ѝ през атмосферата, във формулата за изчисляване на светлинния импулс се въвежда поправъчен множител $e^{-k(R-r)}$, с който се взема предвид ослабването на лъчението за път на лъчите $(R-r)$. Тук R е разстоянието от центъра на светещата област до мястото, където се измерва лъчението, а r — радиусът на светещата област. Ако R и r се изразят в километри, то окончателно за изчисляване на светлинния импулс на разстояние R от центъра на взрива с включване на ослабването на светлинното излъчване в атмосферата се получава формулата

$$U = \frac{E_{\text{изл}}}{4\pi \cdot 10^{10} \cdot R^2} e^{-k(R-r)} \frac{\text{кал}}{\text{см}^2},$$

където $E_{\text{изл}}$ — пълна енергия на светлинното излъчване в кал;

R — разстояние до центъра на взрива в километри;

- r — среден радиус на светещата област в километри;
 k — среден коефициент на ослабване на лъчението за целия вълнов обхват; изразява се в $\frac{1}{\text{км}}$;
 e — неперово число, основа на естествените логаритми, равно приблизително на 2,72.

Точното пресмятане на коефициента на ослабването е много сложно. За сравнително тесен сноплъчи (когато излезлите поради разсейването лъчи от снопа не се връщат обратно в него) коефициентът на ослабването за различните атмосферни условия може да се намери приблизително от следния израз.

$$k \approx \frac{4}{D} \frac{1}{\text{км}},$$

където D е хоризонталното метеорологично разстояние на видимостта, измерено в километри. Под метеорологично разстояние на видимостта се разбира това пределно разстояние, на което денем на фона на небето близо до хоризонта може да се различат очертанията на големи тъмни предмети, като например иглолистни дървета, покритите с чернозем склонове на хълмове, постройките, локомотиви и други.

Когато въздухът е чист (метеорологичното разстояние е около 20 км), средният коефициент на ослабването ще бъде $k=0,1 \frac{1}{\text{км}}$. При средна чистота на въздуха (разстоянието на видимостта е около 40 км) коефициентът на ослабването е

$$k=0,2 \frac{1}{\text{км}}.$$

В големите градове разстоянието на видимостта обикновено не е по-голямо от 10 км, поради което коефициентът на ослабване там е равен на $k=0,4$. Следователно, ако е известно разстоянието на видимостта при атомен взрив, може да се пресметне намаляването на светлинния импулс поради ослабване на светлинното излъчване в атмосферата.

За да се пресметне по-лесно ослабването на светлинното лъчение при преминаването му през атмосферата, често се използва понятието **коефициент на пропускането** (прозрачност). Под това понятие се разбира отношението на преминалото количество светлинна енергия през атмосферен пласт с дебелина 1 км към количеството светлинна енергия, влязла в този пласт. Числено коефициентът на пропускането е равен на $\tau=e^{-k}$, където k е коефициентът на ослабването.

С коефициента на пропускането (прозрачността на атмосферата), както и с коефициента на ослабването, се отчита приблизително ослабването на светлинното лъчение при атомния взрив едновременно и в трите области на спектъра (ултравиолетовата, видимата и инфрачервената). Обикновено коефициентът на пропускането се свързва с хоризонталното метеорологично разстояние на видимостта, което обикновено се предава от метеорологичните станции в сведенията за времето. Зависимостта между разстоянието на видимостта и коефициента на пропускането е показана в долната таблица. В големите градове видимостта обикновено не е по-голяма от 10 км, т. е. коефициентът на пропускането в този случай е равен на 0,67.

Зависимост между метеорологичното разстояние на видимостта и коефициента на пропускането за 1 км

Метеорологично разстояние на видимостта в км	Коефициент на пропускането	Състояние на атмосферата
150	0,97	Изключително добра видимост
100	0,96	Много добра видимост
50	0,92	Добра видимост
20	0,82	Средна видимост
10	0,67	Слаба омара
4	0,37	Силна омара
2	0,14	Много силна омара
1	0,02	Лека мъгла
0,5	от $2 \cdot 10^{-4}$	Мъгла
	до $8 \cdot 10^{-10}$	
0,1	от 10^{-19}	Гъста мъгла
	до 10^{-34}	

Стойностите на коефициента на пропускането, дадени в таблицата, са верни при изчисляване на слабването на лъчението само в сравнително тесен сноп лъчи.

Ако е известен коефициентът на пропускането за 1 км, лесно може да се пресметне каква част от светлината преминава през пласт 2, 3, 4 и т. н. км. За тази цел коефициентът на пропускането за 1 км се повдига на степен, равна на броя на километрите. Нека например коефициентът на пропускането е 0,82 (разстояние на видимост около 20 км). Тогава през въздушен пласт с дебелина 2 км ще премине част от светлината, равна на

$$0,82 \cdot 0,82 = (0,82)^2 = 0,67 \text{ (т. е. 67 \%)}.$$

Ако въздушният пласт е дебел 3 км, ще премине част от светлината, равна на $0,82 \cdot 0,82 \cdot 0,82 = (0,82)^3 = 0,55 \text{ (55 \%)} \text{ и т. н.}$

Приведените по-горе формули за определяне коефициента на слабване k и таблицата за стойностите на коефициента на пропускането дават възможност да се определи слабването на излъчената енергия, както вече беше отбелязано, в сравнително тесен сноп лъчи (когато излизащата поради разсейването част от лъчите не се връща обратно в снопа). Тогава получените светлинни импулси ще представляват долна граница на светлинните импулси при ослабено от атмосферата светлинно излъчване.

Такъв случай е трудно да си представим при атомния взрив. Близко до него е случаят при надземен взрив, когато пластът мъгла или омара над земята е сравнително тънък, например когато е поставена димна завеса. В този случай по-голямата част от лъчението, разсеяна нагоре в чистата атмосфера и надолу към земята, не се завръща обратно в пласта мъгла и поради това светлинните импулси на различни разстояния от центъра на взрива (за обекти, намиращи се на земната повърхност) може с първо приближение (със задоволителна точност) да се изчисляват както при случая на слабване на светлинното излъчване в тесен сноп лъчи.

При въздушния атомен взрив светлинните излъчки се изпускат равномерно във всички страни (въздушен взрив) спрямо светещата област, т. е. в пространствен ъгъл, равен на 4π , който обхваща множество тесни снопове светлинни лъчи. В този случай разсеяната част от излъчките на един сноп светлина се попълва от разсеяната част на друг сноп.

Ако атомният взрив ставаше в еднородна среда (среда с еднаква плътност), безразлично каква е тя — мъгла, дим, прах и т. н., — то през сфера

с произволен радиус, описан около центъра на взрива, от общия брой фотони, излъчени от светещата област, няма да преминат само погълнатите от средата. Тогава ослабването на светлинното излъчване ще се определя само от поглъщането.¹

В действителност мястото на взрива няма да бъде заобиколено от еднородна атмосфера; обикновено концентрацията на разсейващите центрове над мястото на взрива се намалява с увеличаване на височината. Освен това отдолу атмосферата е ограничена от земната повърхност. Нас ни интересува повече ослабването на лъчистата енергия в хоризонтална посока. Намаляването на концентрацията на разсейващите центрове в по-горните пластове дава възможност да се направи изводът, че във вертикална посока атмосферата е по-прозрачна, отколкото в хоризонтална. В хоризонтална посока светлинният поток минава през по-плътна среда, отколкото във вертикална, и следователно губи за сметка на разсейването повече, отколкото придобива. Освен това голяма част от лъчистата енергия, която пада на земята, се поглъща. По такъв начин разсейването довежда също до ослабване на светлинния поток. Следователно хоризонталното светлинно лъчение (което се разпространява встрани от светещата област) се намалява за

¹ По-уточнено погълнатите фотони ще нагреват средата във вътрешността на сферата, която в края на крапцата ще отдава енергията си във вид на фотони с по-голяма дължина на вълната. В крайна сметка цялата излъчена от източника енергия ще излезе от сферата, т. е. няма да има никакво ослабване. Обаче значителна част от светлинното излъчване, която се губи в процеса на поглъщането, не се възстановява за сметка на вторичното излъчване, понеже нагретите газове са по-леки от околния въздух и се издигат нагоре, отнасяйки енергията в горните атмосферни пластове.

сметка на разсейването във височина и поглъщането от земята.

Такава е накратко качествената картина на ослабването на светлинното излъчване при атомния взрив поради преминаване на излъчките през атмосферата.

Предвид извънредната сложност на въпроса да се оцени количествено ослабването на светлинното лъчение от атмосферата при различните й състояния е много трудно. Разсейването на светлинното лъчение ще бъде, както се вижда, все още толкова малко, че на практика може да не се взема под внимание. Поради това ослабването на лъчението ще се определя главно от поглъщането. Както вече беше отбелязано по-горе, поглъщането на светлинните лъчи в различните области е различно. Може да се приеме, че във видимата област практически няма поглъщане. В инфрачервената област се наблюдават много ивици на поглъщане, които се създават от озона, въгледвуокиса и водните пари. Най-силните поглъщателни ивици се дължат на водните пари, понеже количеството на озона и въглеродния двуокис във въздуха не е голямо. Количеството на водните пари във въздуха зависи от състоянието на атмосферата (влажността), обаче при обикновени условия коефициентът на пропускането е средно (за вълнов обхват от 0,4 микрона до 12 микрона) не по-малък от 0,8—0,9, а коефициентът на поглъщане светлинното излъчване при атомния взрив даже в лошо време (мъгла, дъжд) е съответно не по-голям от

$$0,2 - 0,1 \frac{1}{\text{км}}$$

В ясно време поглъщането на светлинното лъчение в атмосферата практически може да се пре-

небрегнне. Поради това с цел да се получи най-голям радиус на поражение от действието на светлинното излъчване противникът ще се стреми да използва атомното оръжие в добра видимост. За това трябва да се държи сметка при организирането на противоатомната защита.

Ще разгледаме накратко ослабването на светлинното лъчение чрез маскиращи димове. Димни завеси се поставят за маскиране на собствените войски и военни обекти и за заслепяване на огневите точки, наблюдателните пунктове и боиния ред на противника. Както е известно, маскиращите димни завеси представляват плътна мъгла, която се образува в атмосферата при употребата на така наречените димни вещества. По време на атомен взрив маскиращите димове, както и естествените мъгли, ще ослабват светлинното лъчение. В известни граници коефициентът на ослабването на светлината е право пропорционален на тегловната концентрация на дима, мерена в mg/l или в g/m^3 .

Абсолютната стойност на коефициента на ослабването за тесен успореден сноп светлина при маскиращи димове е приблизително $0,4-0,04 \frac{1}{m}$ или

$400-40 \frac{1}{km}$. От тези цифри се вижда, че коефициентът на ослабването при димните завеси е доста голям и съответствува на ослабването в плътни естествени мъгли за тесен сноп лъчи.

Количеството погълната светлина от общата загуба на светлинната енергия поради разсейването и поглъщането зависи от размерите на димните частици, дължината на светлинната вълна и средния за всички частици коефициент на пречупване на светлината.

За неопцветени димове поглъщането възлиза на 10 до 30 % от общата загуба на светлинна енергия вследствие на разсейването и поглъщането, а в черните димове то достига до 80 %. От изложеното може да се заключи, че ако се постави димна завеса, поразяващото действие на светлинното излъчване може в известна степен да се ослаби.

6. СВЕТИЛНИ ИМПУЛСИ, ПРЕСМЕТНАТИ С ВКЛЮЧВАНЕ НА ОСЛАБВАНЕТО НА СВЕТИЛНОТО ЛЪЧЕНИЕ ОТ АТМОСФЕРАТА

Сега вече разполагаме с данни за оценяване на светлинните импулси на различни разстояния от центъра на взрива при различни състояния на атмосферата.

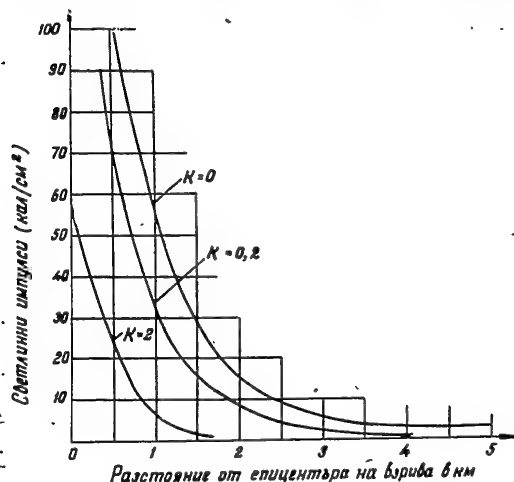
За въздушен взрив (височина на взрива $H = 600 m$) на атомна бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона стойностите на светлинните импулси, изчислени по формулата, дадена в предишния параграф 5, са приведени на фиг. 32. На тази фигура по хоризонталната ос са нанесените в километри разстоянията от епицентъра¹ на атомния взрив, а по вертикалната ос — стойностите на светлинните импулси в $кал/см^2$.

Всяка крива е изчислена за определен коефициент на ослабване k (коефициент на прозрачност τ).

От разглеждането на кривите (фиг. 32) следва, че колкото е по-малка прозрачността на атмосфе-

¹ За въздушния взрив светлинните импулси на различни разстояния от епицентъра на взрива може да бъдат определени по формулата, дадена в параграф 5, ако вместо R поставим $\sqrt{R_e^2 + H^2}$, където R_e е разстоянието от епицентъра на взрива, а H — височината на взрива.

рата, толкова е по-малка за едно и също разстояние стойността на светлинния импулс. Например на разстояние 1,5 км от епицентъра на атомния взрив, ако приемем, че няма ослабване на светлинната енергия в атмосферата, светлинният импулс е равен на 30 кал/см². За същото разстояние



Фиг. 32. Изменение на светлинните импулси при изменение на разстоянието от епицентъра на взрива за различни стойности на коефициента на ослабване на светлинното лъчение при взрив на атомна бомба с еквивалент 20 000 тона тротил

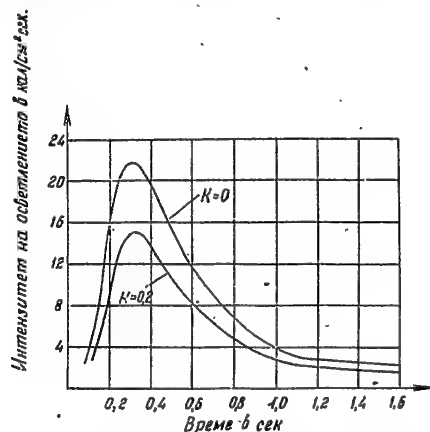
при коефициент на ослабването $k=0,2 \frac{1}{\text{км}}$ (коефициент на пропускането $\tau=0,82$) светлинният импулс

е равен на 15 кал/см², а при коефициент на ослабване $k=2 \frac{1}{\text{км}}$ (коефициент на пропускането $\tau=0,13$) светлинният импулс е равен само на 1 кал/см².

Не е трудно да се види, че като поразяващ фактор светлинното излъчване при атомния взрив зависи от състоянието на атмосферата в момента на взрива. При определено състояние на атмосферата (гъста мъгла, дъжд, снеговалеж) светлинното излъчване ще нанася поражение на по-малки разстояния, отколкото при хубаво време. Тази е особеността на светлинното излъчване като поразяващ фактор в сравнение с другите поразяващи фактори (ударната вълна, проникващата радиация и радиоактивното заразяване на местността) при атомния взрив. Обратно, радиоактивното заразяване на местността при въздушен атомен взрив може да бъде значително увеличено в мъгла, дъжд и снеговалеж. Но не трябва също да се забравя и това, че в много хубаво време на открита местност при въздушен взрив на атомна бомба с тротилово еквивалент 20 000 тона ударната вълна и проникващата радиация действуват върху хората на разстояние до 2000 м от епицентъра на взрива. Под действието на светлинното излъчване може да бъдат нанесени обгаряния по открити части на тялото на разстояние до 4000 м.

Форма на светлинния импулс. По-горе посочихме стойността на светлинните импулси, т. е. количеството енергия, падаща върху 1 см² от повърхността на тялото (когато тя е перпендикулярна на падащите лъчи) за цялото време, през което огненото кълбо свети. На практика понякога е потребно да се знае с каква сила идва енергията в дадена точка на дадено разстояние от центъра

на взрива (интензитет или сила на осветлението). Това не е трудно да се изчисли въз основа на кривата, приведена на фиг. 28, и формулата за определяне стойността на светлинния импулс. Зависимостта на силата на осветлението от времето на разстояние 2 км от центъра на атомния взрив



Фиг. 33. Форма на светлинния импулс на разстояние 2 км от центъра на взрива за две състояния на атмосферата, които се характеризират с коефициенти на отслабване

$$k=0 \text{ и } k=0,2 \frac{1}{\text{км}}$$

(формата на импулса) за две състояния на атмосферата е показана на фиг. 33. Очевидно площта, ограничена от всяка крива и хоризонталната ос, дава големината на светлинния импулс на дадено

разстояние от центъра на взрива и при дадено състояние на атмосферата.

7. ГОЛЕМИНА НА СВЕТИННИЯ ИМПУЛС В ЗАВИСИМОСТ ОТ КАЛИБЪРА НА АТОМНАТА (ВОДОРОДНАТА) БОМБА

Големините на светлинните импулси, указани в предишния параграф, се отнасят за атомни бомби с тротилов еквивалент 20 000 тона. За атомни бомби с други тротилови еквиваленти стойностите на светлинните импулси на различни разстояния от центъра на взрива може да се изчислят по същия начин, както в параграф 6, ако е известно количеството светлинна енергия, която излъчва огненото кълбо през цялото време на светенето му, или ако е известно пълното количество енергия, което се отделя при взрива, и частта от енергията, която се отделя във форма на светлинно лъчение. Да допуснем, че частта от енергията, която се отделя във форма на светлинно лъчение, не зависи от калибъра на атомната бомба и е равна на една трета от пълната енергия, която се отделя при взрива. Тогава за атомна бомба с какъвто и да е тротилов еквивалент количеството енергия, която се изпуска във форма на светлинно лъчение, ще бъде равно на количеството светлинна енергия, отделяща се при взрива на атомна бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона, умножено по отношението на тротиловите еквиваленти.

Например за атомна бомба с еквивалент 40 000 тона тротил количеството енергия, което се отделя във форма на светлинна енергия, ще бъде равно на $7.10^{12} \cdot \frac{40\,000}{20\,000} = 14.10^{12}$ кал., а за атомна бомба

с тротилов еквивалент 100 000 тона във форма на светлинна енергия ще се отделят $7 \cdot 10^{12} \cdot \frac{100\,000}{20\,000} = 3,5 \cdot 10^{13}$ кал.

При водородните бомби тротиловият еквивалент е значително по-голям, отколкото при атомните бомби, но не е известна частта от енергията, която се отделя във форма на светлинно лъчение. Ако допуснем, че тя е равна също на $\frac{1}{3}$ от пълната енергия, за водородна бомба с тротилов еквивалент 2 милиона тона във форма на светлинна енергия ще се отделят $7 \cdot 10^{12} \cdot \frac{2\,000\,000}{20\,000} = 7,0 \cdot 10^{14}$ кал. или 100 пъти повече, отколкото за атомна бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона.

Сега, като знаем количеството енергия, което се отделя във форма на светлинно лъчение, лесно е по дадената в параграф 6 формула да се изчислят за указаните калибри стойностите на светлинните импулси на различни разстояния от центъра или епицентъра на атомния взрив за каквото и да е състояние на атмосферата. За пример в таблицата на стр. 155 са приведени светлинните импулси на различни разстояния от центъра на въздушния взрив за два калибра атомни бомби с тротилови еквиваленти 20 000 и 100 000 тона. Импулсите са изчислени за три състояния на атмосферата, които се определят от коефициентите на ослабване $k=0$, $k=0,08$ ($\tau=0,92$) и $k=0,2$ ($\tau=0,82$).

При надземен атомен взрив светлинните импулси може да бъдат няколко пъти по-малки, отколкото при въздушен взрив, понеже част от светлинното лъчение отива за разтопяване на почвата, а друга част се поглъща от праха, вдигнат от ударната вълна.

Разстояние от центъра на взрива в км	Атомна бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона			Атомна бомба с тротилов еквивалент 100 000 тона		
	$k=0$	$k=0,08$	$k=0,2$	$k=0$	$k=0,08$	$k=0,2$
1	55,0	53,0	47,0	280,0	260,0	240,0
2	14,0	12,0	9,6	70,0	61,0	49,0
3	6,2	4,8	3,5	31,0	25,0	18,0
4	3,5	2,6	1,6	17,2	13,0	8,3
5	2,2	1,5	—	11,0	7,6	4,3
6	—	—	—	7,7	4,9	2,5
7	—	—	—	5,7	3,3	1,5
8	—	—	—	4,3	2,4	—
9	—	—	—	3,1	—	—
10	—	—	—	2,8	—	—
11	—	—	—	2,3	—	—
12	—	—	—	1,9	—	—

За едно и също разстояние, но за други калибри атомни бомби светлинните импулси може да се определят по следния начин. Въз основа на формулата за изчисляване на светлинния импулс, дадена в параграф 6 за отношението на светлинните импулси на едно и също разстояние при взрив на две бомби с различни калибри, получаваме

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{E''_{\text{изл}}}{E'_{\text{изл}}} e^{-k(r_2 - r_1)},$$

където $E''_{\text{изл}}$ и $E'_{\text{изл}}$ — енергия на светлинното излъчване съответно за взривите на първата и втората атомна бомба;

r_2 и r_1 — средни радиуси на огнените кълба при взривите на тези бомби.

Като знаем големината на светлинния импулс на дадено разстояние за единия калибър атомна бомба (например за атомна бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона), може да намерим стойността на светлинния импулс на същото разстояние за другия калибър (с друг тротилов еквивалент).

Въз основа на казаното, може да напишем:

$$U_2 = U_1 \frac{E''_{изл}}{E'_{изл}} e^{-k(r_2 - r_1)}.$$

Имайки предвид, че количеството енергия при атомния взрив, отделено във форма на светлинно лъчение, е пропорционално на тротиловия еквивалент q_2 в последното равенство може да заместим $E''_{изл}$ и $E'_{изл}$ съответно с q_2 и q_1 , където q_2 и q_1 са тротиловите еквиваленти на двете атомни бомби.

При добри метеорологични условия за атомни бомби, чиито светещи области не се различават много по размери, множителят $e^{-k(r_2 - r_1)}$ е близък до единицата. Поради това последният израз за определяне на светлинния импулс може да се представи приблизително по следния начин:

$$U_2 = U_1 \frac{q_2}{q_1}.$$

Ще покажем използването на тази формула с пример: Да допуснем, че състоянието на атмосферата се характеризира с коефициент на ослабване

$$k = 0,1 \frac{1}{\text{км}}.$$

Тогава за атомна бомба с тротилов еквивалент $q_1 = 20\,000$ тона ($r_1 = 150$ м) на разстояние 2 км от центъра на взрива светлинният импулс ще бъде равен приблизително на

$U_1 = 14$ кал/см². Каква стойност ще има светлинният импулс U_2 на същото разстояние при взрив на атомна бомба с тротилов еквивалент $q_2 = 100\,000$ тона?

$$r_2 = r_1 \sqrt[3]{\frac{100\,000}{20\,000}} = 150 \cdot 1,71 \approx 250 \text{ м},$$

$$e^{-k(r_2 - r_1)} = 0,99.$$

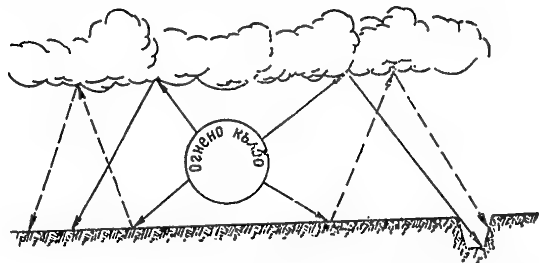
Въз основа на последната формула получаваме:

$$U_2 = 14 \cdot \frac{100\,000}{20\,000} = 70 \text{ кал/см}^2.$$

8. ГОЛЕМИНА НА СВЕТИННИЯ ИМПУЛС В ОБЛАЧНО ВРЕМЕ

По-горе беше казано, че при мъгла, дъжд, снеговалеж и т. н. светлинните импулси може да бъдат по-малки, отколкото при хубаво време, поради ослабването на светлинното лъчение. Съвършено друго може да бъде положението при взрив на атомна бомба в облачно време. Да си представим, че на малка височина над земята са се образували плътни облаци и че атомният взрив е станал между земята и облаците. В този случай светлинните импулси, получени на различни разстояния от епицентъра на взрива, ще бъдат по-големи в сравнение със светлинните импулси, получени при безоблачно време. На какво се дължи увеличаването на светлинните импулси? Причината се състои в това, че светлинните излъчвания, които огненото кълбо изпуска нагоре, се отразяват отчасти от облаците и се връщат на земята (фиг. 34). За увеличаване на светлинния импулс освен това

спомогат и светлинните излъчвки, които огненото кълбо изпуска по посока на земята. Като падат на земята, лъчите отчасти се отразяват, отиват към облаците, отразяват се и от тях и отново се връщат на земята. За дадено разстояние от епицентъра на взрива увеличаването на светлинния импулс в



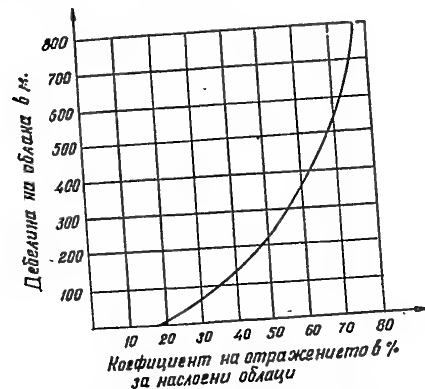
Фиг. 34. Схема за отразяване на светлинното излъчване от облаците

облачно време зависи от много причини — от височината на облаците над земната повърхност, от дебелината на облаците, от отразителната способност на земната покривка и т. н.

Дебелината на облака определя способността му да отразява светлинното лъчение. Колкото е по-дебел облакът, толкова по-голяма ще бъде отразената част от светлинната енергия, която пада върху него.

Приблизителната зависимост между отразената част от светлинното лъчение и дебелината на облаците, изразена в проценти, е показана на фиг. 35. От кривата, която изразява тази зависимост, се вижда, че вече при дебелина на облаците 700—800 м ще се отразят приблизително 75—80% от свет-

линото лъчение, падащо върху облаците. Средният коефициент на отражението, изчислен с вземане предвид разпространеността на облаците с различна форма и различна дебелина, възлиза на около 50—55%. Следователно в облачно време въз-



Фиг. 35. Зависимост между отразените светлинни излъчвки и дебелината на облаците

никват допълнителни изисквания спрямо противотомните защитни съоръжения.

В действителност хората може да получат обгаряния от светлинни излъчвки, отразени от облаците, и когато се намират в окопи открит тип (това се вижда от фиг. 34), независимо че ще бъдат защитени от преките светлинни лъчи.

Някои пресмятания дават възможност да се направи заключението, че когато облаците и земната покривка (напр. при сняг) отразяват около 75—80%

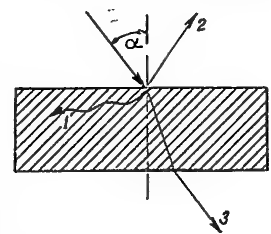
от падащата върху тях светлинна енергия, големината на светлинния импулс на известни разстояния от епицентъра на взрива (при отношение на височината на облаците над земната повърхност към разстоянието от епицентъра на взрива 0,5—1,0) може да достигне за сметка само на отразената от облаците и земята част от светлинното лъчение до половината от големината на светлинния импулс, създаден от преките светлинни лъчи, идващи непосредствено от огненото кълбо.

Това обстоятелство трябва да се има предвид при организиране на противоатомната защита.

Следователно както съоръженията против ударната вълна, проникващата радиация и заразяването с радиоактивни вещества, така и съоръженията против светлинното излъчване при атомния взрив трябва да се правят покрити. Необходимо е в траншеите да се правят покрити участъци.

ГЛАВА V ПОРАЗЯВАЩО ДЕЙСТВИЕ НА СВЕТИННОТО ИЗЛЪЧВАНЕ ПРИ АТОМНИЯ ВЗРИВ И ЗАЩИТНИ МЕРКИ ПРОТИВ НЕГО

Светлинната енергия U (светлинният импулс), която пада върху дадено тяло при излъчване от огненото кълбо, отчасти се отразява от повърхността на тялото, отчасти се поглъща от него и отчасти преминава през него, ако е прозрачно. Схематично разпределението на светлинната енергия, която пада върху тялото, е показано на фиг. 36.



Фиг. 36. Схема за разпределение на светлинната енергия (светлинния импулс), падаща върху тялото: 1 — поглъщаната от тялото; 2 — отразената; 3 — преминалата през тялото

На фигурата са обозначени с дебели стрелки светлинната енергия U , която пада върху тялото; с вълнообразна линия 1 — поглъщаната от тялото енергия U_1 ; със стрелка 2 — отразената част от светлинната енергия U_2 ; със стрелка 3 — преминалата през тялото енергия U_3 . Съгласно казаното, лесно е да съставим равенството $U = U_1 + U_2 + U_3$. В окръжаващата ни обстановка повечето от телата

(с изключение на стъклото) са почти непрозрачни ($U_3=0$). Поради това може да се каже, че една част от падащата върху тялото светлинна енергия се отразява от него, а друга част се поглъща, т. е. $U=U_1+U_2$. Нас ни интересува тази част от падащата върху тялото светлинна енергия, която се поглъща от него. Като погълне енергията, тялото се нагрява. В зависимост от температурата на нагряването се причинява по-слабо или по-силно поражение — овъгляване, възпламеняване, разтапяне на материалите или обгаряне. Ще разгледаме най-напред каква част от падащата светлинна енергия се поглъща от тялото.

1. ПОГЛЪЩАНЕ НА СВЕТИННАТА ЕНЕРГИЯ ОТ РАЗЛИЧНИТЕ ТЕЛА

При една и съща падаща светлинна енергия (с един и същ светлинен импулс) различните тела поглъщат различно количество от нея. Например тяло с тъмна повърхност поглъща значително повече светлинна енергия, отколкото тяло с бяла повърхност. Тези свойства на телата се използват широко в живота — бели летни костюми, бял цвят на хладилните вагони, бели цистерни и други оцветени в бяло съоръжения се използват, когато трябва да се намали нагряването на телата от слънцето. За характеристика на поглъщателната и отражателната способност на телата обикновено се използват коефициентите на поглъщането и отражението, които се обозначават съответно с K_1 и K_2 . Те се получават от равенството $U=U_1+U_2$, като дясната и лявата му част се разделят на U .

Тогава

$$1 = \frac{U_1}{U} + \frac{U_2}{U}.$$

Коефициентът на поглъщането $K_1 = \frac{U_1}{U}$ е числено

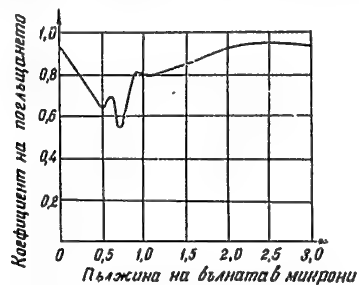
равен на отношението на погълнатата от тялото светлинна енергия към светлинната енергия, падаща върху него. Коефициентът на поглъщането е число, което показва каква част от светлинния импулс поглъща дадено тяло.

Коефициентът на отражението $K_2 = \frac{U_2}{U}$ е чис-

лено равен на отношението на отразената от тялото светлинна енергия към светлинната енергия, падаща върху него. Коефициентът на отражението е число, което показва каква част от светлинния импулс отразява дадено тяло. Коефициентите на поглъщането и отражението, както се вижда от определението им, са винаги по-малки от единица. Обаче сумата им за непрозрачно тяло съгласно закона за запазване на енергията е равна на единица: $K_1+K_2=1$. Това значи, че ако е известен един от тях за дадено тяло, другият се намира, като известният се извади от единица. Например бялата хартия има коефициент на отражението $K_2=0,80$ и коефициент на поглъщането $K_1=1-0,80=0,20$. Често коефициентите на поглъщането и отражението се изразяват в проценти. Следователно бялата хартия поглъща 20% от светлинната енергия, която пада върху нея. Поглъщателната способност на тялото зависи не само от цвета му, но и от състоянието на повърхността му. Например грапавата повърхност поглъща повече светлинна енергия, отколкото гладката или полираната, влажната повърхност поглъща повече от сухата и т. н. Но коефициентът на поглъщането зависи до голяма степен и от състава на падащата светлинна енергия, т. е. от дължината на светлинната вълна.

Много интересно е да се проследи как се изменя коефициентът на поглъщането за човешката кожа в зависимост от дължината на светлинната вълна. Тази зависимост е показана на фиг. 37 за среден случай.

На графика по хоризонталната ос е нанесена дължината на светлинната вълна в микроми, а по



Фиг. 37. Изменение коефициента на поглъщането за човешката кожа в зависимост от дължината на светлинната вълна

вертикалната ос — коефициентът на поглъщането. За изминалите много хилядолетия от съществуването на човека кожата му се приспособила добре към слънчевите лъчи. Късовълновите ултравиолетови лъчи достигат земната повърхност в много малко количество, затова кожата почти напълно ги поглъща, като отразява само 3% от енергията им. На фиг. 37 се вижда, че във видимата област, където се излъчва твърде много слънчева енергия, кожата, напротив, поглъща малко — 65% от нея, а останалите 35% отразява. С това се ослабва излишното действие

на тези лъчи върху кожата. С увеличаване на дължината на вълната в инфрачервената област на спектъра слънчевата енергия се намалява, а коефициентът на поглъщането се увеличава.

Кожата на човека пропуска различно различните дължини на светлинните вълни. Ултравиолетовите лъчи се поглъщат напълно от кожата още на няколко стотни от милиметъра след навлизането им в нея; с увеличаване на дължината на вълната се увеличава и пропускливостта на кожата, която става най-голяма за инфрачервени лъчи с дължина на вълната 0,8 микроми. За по-дългите инфрачервени лъчи пропускливостта на кожата наново намалява. Поради сложната зависимост на коефициента на поглъщане от дължината на вълната въвеждат се обикновено средни коефициенти на поглъщане и за трите области на светлинния спектър (ултравиолетовата, видимата, инфрачервената). За кожата на човека средният коефициент на поглъщането е равен на 0,65, т. е. кожата поглъща около 65% от светлинната енергия (светлинния импулс), падаща върху нея.

Изброените по-долу материали поглъщат средно следните количества от светлинните излъчвки, падащи върху тях: бяла боя — 18%; черна боя — 96%; червена или кафява керемиди — 70%; зеленикав плат — 60%; бял плат — 25%; черно сукно — 99%; бяла хартия — 20%; суха трева, изсъхнала на слънце, памук — 80% и т. н.

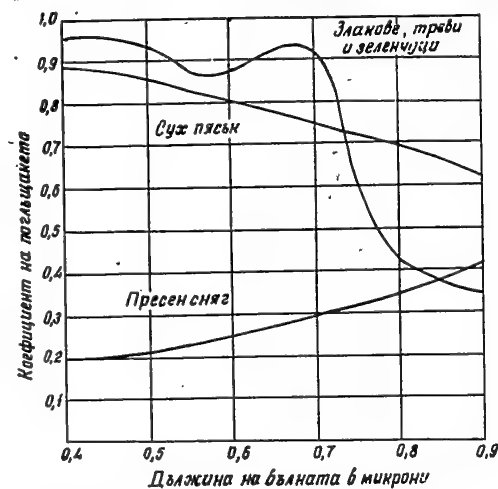
Колкото е по-голям коефициентът на поглъщането за повърхността на тялото, толкова повече това тяло поглъща светлинната енергия. Но количеството на светлинната енергия, поглъщана от тялото, се определя не само от коефициента на поглъщането, а и от ъгъла α , под който падат

светлинните лъчи (фиг. 36, ъгъл между перпендикуляра към повърхността и падащите светлинни лъчи). Колкото е по-голям ъгълът на падането, толкова по-малко светлинна енергия се поглъща от тялото. Количеството на погълнатата светлинна енергия е право пропорционално на косинуса на ъгъла на падането (при увеличаване на ъгъла косинусът му намалява).

Падащата върху тялото светлинна енергия се измерва със светлинния импулс, т. е. с количеството енергия, падаща върху един квадратен сантиметър повърхност на тялото, перпендикулярна на падащия лъч, за цялото време на излъчване на енергия от огненото кълбо. Като умножим светлинния импулс по коефициента на поглъщането и по косинуса на ъгъла на падането, намираме количеството светлинна енергия, която се поглъща от един квадратен сантиметър повърхност на тялото. Спектърът на погълнатите излъчки е много разнообразен и доста трудно се установява, защото при преминаване на светлинната енергия през атмосферата до даденото тяло вълните с различни дължини различно се ослабват от атмосферата, и освен това различните вълни различно се поглъщат от тялото, като тази разлика може да бъде доста значителна. Например в ултравиолетовата област поглъщателната способност на човешката кожа е приблизително 2 пъти по-голяма, отколкото във видимата област, иглите на елата поглъщат видимите лъчи приблизително 2,5 пъти по-силно, отколкото инфрачервените лъчи, и т. н. Това потвърждават и кривите, показани на фиг. 38. Почти за всички тела коефициентите на поглъщане в ултравиолетовата област на спектъра са по-големи, отколкото във видимата и в инфрачервената област.

- Общо, казано, при един и същ светлинен импулс всяко тяло поглъща различно количество светлинна енергия, определяща степента на поражението.

Зависи ли степента на поражението на телата само от количеството погълната енергия? Оказва



Фиг. 38. Изменение на коефициентите на поглъщане за различните земни покривки в зависимост от дължината на вълната

се, че всички степени на поражение на телата — възпламеняване, овъгляване, разтопяване или обгаряне — зависят твърде много от други свойства на тялото — от топлопроводността и топлиемостта му, както и от размерите (дебелината) му.

Както е известно, топлопроводността или топлинната проводимост характеризира способността на веществата да пропускат топлината. Топлопроводността на веществата се изразява с коефициента на топлинната проводимост, който се определя от количеството топлина, преминаваща през 1 cm^2 повърхност от веществото за 1 секунда при разлика в температурите 1°C на път 1 cm . За различните тела коефициентът на топлинната проводимост е твърде различен и за всяко от тях зависи от плътността (обемното тегло), влажността и температурата. Например коефициентът на топлинната проводимост на дървото (бора) е около 100 пъти по-малък от коефициента на топлинната проводимост на дуралуминия, а коефициентът на топлинната проводимост на същото дърво е приблизително 4 пъти по-голям от коефициента на топлинната проводимост на ленената тъкан.

От физиката е известно, че различните вещества при еднакви условия се нагряват до различни температури от получените еднакви количества топлина и обратно, различните вещества изискват различно количество топлина, за да се нагряят до еднаква температура. За характеристика на нагреваемостта на различните вещества е въведена особена величина, наречена обемна топлемност. Обемната топлемност се измерва с това количество топлина, което е потребно за нагряването на един кубичен сантиметър вещество с един градус. За различните вещества обемната топлемност е също различна, но тази разлика е значително по-малка от разликата в топлопроводността. Например обемната топлемност на дървото (бора) е около 6 пъти по-голяма от обемната топлемност на стоманената плоча,

2 пъти по-голяма от обемната топлемност на гумата и т. н.

Степента на поражение на тялото зависи от температурата, до която се нагрява повърхността му. Следователно при един и същ светлинен импулс температурата на осветената повърхност се определя от поглъщателната способност, топлопроводността и топлемността на тялото. Колкото е по-голяма поглъщателната способност на повърхността и колкото са по-малки топлопроводността и топлемността, толкова по-големи стойности приема повърхностната температура. Примерно при еднакви коефициенти на поглъщането повърхността на дървото се нагрява до значително по-висока температура, отколкото повърхността на стоманената плоча, тъй като стоманената плоча има 100 пъти по-голяма топлопроводност от дървото (макар топлемността на дървото да е 6 пъти по-голяма от топлемността на стоманената плоча).

За илюстрация ще разгледаме следния пример. Какво ще стане с борови дъски и дуралуминий (с дебелина над 10 mm), ако те за $8,4$ секунди възприемат светлинен импулс, равен на 50 kcal/cm^2 . Пресмятанията показват, че при такъв светлинен импулс температурният прираст (в сравнение с първоначалната температура) за осветената повърхност на боровите дъски ще бъде около 1200°C и боровите дъски ще горят с устойчив пламък. При същия импулс поради огромната топлопроводност температурният прираст за повърхността на дуралуминия ще бъде само около 17°C и практически дуралуминият няма да претърпи никакви изменения.

Степента на поражение на тялото зависи и от неговата дебелина. Колкото е по-дебело тялото, толкова по-малко поражение му нанася светлин-

ното излъчване при атомния взрив, понеже за времето на осветяване повърхността на тялото поглънатата част светлинна енергия (топлинна енергия) за сметка на топлопроводността се разпространява на голяма дълбочина. Следователно при еднакви други условия по-тънките тела ще имат по-висока повърхностна температура. При атомния взрив съществено значение за степента на поражението има не само отделянето на огромно количество светлинна енергия, но и това, че тази енергия се отделя за извънредно кратки откъслечи от време, изчислими в секунди. Следователно и поглъщането на светлинното лъчение от телата протича много бързо. Поради бързия приток на голямо количество топлина към повърхността на тялото повърхностният слой успява да поеме само много малка част от тази топлина в резултат на топлопроводността. Повърхностната температура на тялото става много висока. В зависимост от нея тялото претърпява една или друга степен на поражение. Ако изпускането (поглъщането) на същото количество светлинно лъчение би продължавало по-дълго време, повърхностната температура щеше да бъде значително по-ниска, тъй като вследствие на топлопроводността голяма част от енергията би преминала от повърхността в дълбочината на тялото, а друга част би се излъчила в околната среда. Следователно тялото би претърпяло по-малко поражение или изобщо не би претърпяло поражение, макар общото количество на поглънатата светлинна енергия да остава същото. Това може да се покаже нагледно със следния пример.

В различни пунктове на Съветския съюз за един ден на всеки квадратен сантиметър хоризонтална повърхност пада средно следното коли-

чество слънчева светлина: Иркутск — 165 кал., Тбилиси — 206 кал. и Ташкент — 278 кал.

Ако това количество светлинна енергия би паднало на квадратен сантиметър повърхност при атомен взрив (за 3 сек.), много вещества биха се възпламенили, а някои метали биха се разтопили. Откритите части на човешкото тяло биха се овъглили. Обаче при нагряване на телата от слънцето това не става, понеже нагряването е продължително. Оттук може да направим заключение, че при една и съща стойност на светлинния импулс на две атомни бомби степента на поражение ще бъде сравнително по-малка за тази атомна бомба, при която огненото кълбо свети по-дълго време. Това може да се поясни по следния начин. Степента на поражението зависи от количеството топлина, получена от един квадратен сантиметър повърхност на тялото за една секунда (интензитетът на осветлението се измерва в $\text{кал/см}^2 \text{сек}$). Опитите показват, че колкото е по-малък интензитетът на осветлението, толкова повече време за осветяване е необходимо, т. е. толкова по-голям трябва да бъде светлинният импулс за насяне на една и съща степен на поражение. Например при интензитет на осветлението $0,8 \text{ кал/см}^2 \text{сек}$ самозапалването на памучните тъкани става след 7 секунди; при интензитет на осветлението $1,0 \text{ кал/см}^2 \text{сек}$ те се самозапалват след 5 секунди, а при интензитет на осветлението $1,3 \text{ кал/см}^2 \text{сек}$ самозапалването настъпва само след 3 сек. Следователно за самозапалване на памучните тъкани в първия случай светлинният импулс е равен на $5,6 \text{ кал/см}^2$, във втория — на 5 кал/см^2 , а в третия — на $3,9 \text{ кал/см}^2$. Тъй като при взрива на водородната бомба светенето на огненото кълбо продължава повече време, отколкото при взрива

на атомната бомба, то за един и същ светлинен импулс интензитетът на осветлението при взрива на водородната бомба е по-малък. Следователно при взрив на водородна бомба е нужен по-голям светлинен импулс, отколкото при взрив на атомна бомба, за да се получи една и съща степен на поражение.

При едно и също време на светене за всяко тяло очевидно е потребно определено критическо количество погълната светлинна енергия за запалването, овъгляването или обгарянето му. Запалването или овъгляването на материалите, както и обгарянето на кожата зависят от много фактори. По-горе вече беше разгледана накратко зависимостта им от топлемността, топлопроводността и дебелината на тялото. Върху степента на поражението влияят и други фактори, например влажността на материалите, обработката на повърхността им (оцветяване, лакировка) и т. н. Изобщо много трудно е да се определят напълно точно условията, при които е възможно запалване или овъгляване на материалите. Същото може да се каже и за обгарянето на кожата. Счита се, че при бърз приток на топлина (при атомния взрив), дължащ се на поглъщането на светлинни излъчвания с голям интензитет, поражението се определя от общото количество светлинна енергия, която пада върху единица осветена повърхност, т. е. от светлинния импулс. Светлинните импулси, необходими за нанасяне на една или друга степен на поражение са определени опитно за повечето материали и ще бъдат приведени в следващите параграфи:

2. ОБГАРЯНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕТО НА СВЕТИННОТО ИЗЛЪЧВАНЕ

Действието на светлинното излъчване при атомния взрив върху хората се изразява в обгаряния от различна степен. При взрив на атомна или водородна бомба се различават два вида обгаряния: обгаряне от непосредственото въздействие на светлинното лъчение и обгаряния от пламъците, които възникват при изгарянето на различни материали под действието на светлинното лъчение (обгаряния от пожарите). Обгарянията от пожарите са характерни за градовете и населените пунктове. Към този вид обгаряния спадат и обгарянията от подпаленото облекло. На открита местност (на бойното поле) най-много обгаряния ще се получат от непосредственото действие на светлинното излъчване при атомния взрив. Не са изключени, разбира се, и обгаряния от подпаленото облекло и от възпламенени материали.

По чуждестранни данни през време на атомните бомбардировки на американските империалисти над японските градове Хирошима и Нагазакі приблизително 50% от всички смъртни случаи са били предизвикани от различни обгаряния. При това 20—30% от тях са се дължали на обгаряния от непосредственото светлинно излъчване, а останалите — на обгаряния от пламъците на възникналите пожари. Посочените цифри трябва да се считат, разбира се, за грубо ориентировъчни.

Тези многобройни обгаряния, както вече беше отбелязано, са резултат от пълната внезапност на атомното нападение, от липсата на организирана противоатомна защита в тези градове, от подпалването на многочислените дървени, относително слаби постройки, както и от липсата

на организирана борба с възникналите при взривовите пожари.

Понеже обгарянията от пламъците не са характерни за войските на бойното поле, няма да ги разглеждаме тук.

Ще разгледаме по-подробно обгарянията под непосредственото действие на светлинното излъчване при атомния взрив. Различаваме обгаряния от първа, втора и трета степен. Степента на обгарянето зависи от големината на светлинния импулс, т. е. от отдалечението на хората от мястото на атомния взрив и от вида на взрива. По-долу ще бъдат разгледани обгарянията при въздушен атомен взрив. При взрива на атомните бомби над Хиросима и Нагазаки (тротиловият еквивалент на тези бомби се оценява на 20 000 тона), както беше казано по-горе, силни обгаряния (трета степен) по откритите части на тялото получили хората, които се намирали на разстояние до 1500 м от мястото на взрива, по-слаби обгаряния (втора степен) — намиращите се на разстояние до 2000 м и леки обгаряния (първа степен) — отдалечените до 4000 м. Топлината от взрива се усещала на разстояние над 9000 м. Овъгляване на кожата се наблюдавало в област с радиус приблизително 1200 м от центъра на взрива. При обгаряне от светлинното излъчване кожната покривка се поражавя на малка дълбочина. Това е лесно обяснимо, като вземем предвид, че светлинното излъчване се поглъща в продължение само на около 3 сек.

Под действието на светлинното излъчване веднага след взрива поразените места от кожата почервяват. След няколко часа червенината се сменя с потъмняване на кожата и с образуване на мехури. Както и при обгарянията, които се обра-

зуват под непосредственото действие на пламъка, по-нататъшното боледуване зависи от степента (дълбочината) на обгарянето. Обгарянията от първа степен заздравяват сравнително бързо. Останалите обгаряния изискват по-продължително лечение.

Какви светлинни импулси са необходими, за да се предизвика една или друга степен обгаряне по откритите части на тялото? Големината им лесно може да се намери, ако използваме фиг. 32 или таблицата в параграф 7, глава 4 за атомна бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона, като знаем на какви разстояния са били наблюдавани обгаряния от една или друга степен. Приемайки примерно, че състоянието на атмосферата се характеризира с коефициент на -ослабването между $k=0$ и $k=0,08 \frac{1}{\text{км}}$, ще получим, че тези импулси са равни на 2—3 кал/см² за предизвикване на обгаряне от първа степен, на около 10—15 кал/см² за обгаряне от втора степен, на около 20 кал/см² за обгаряне от трета степен и на над 20 кал/см² за овъгляване. Очевидно сега е лесно да се установят по фиг. 32 разстоянията, на които може да се очаква една или друга степен на поражение при различни състояния на атмосферата. За тази цел е необходимо да се прокарат на графика прави линии, успоредни на хоризонталната ос, на разстояния, равни на големината на импулса, необходим за предизвикване на една или друга степен на поражение. Като направим това (за атомна бомба с тротилов еквивалент 20 000 тона), ще намерим, че леки обгаряния може да се очакват, когато няма ослабване на светлинното лъчение в атмосферата — на разстояние 4000—5000 м; при състояние на атмосферата, характеризиращо

с коефициент на ослабване $k=0,2 \frac{1}{\text{км}}$ — на разстояние до 2700 м, а при $k=2 \frac{1}{\text{км}}$ — на разстояние до 1200 м.

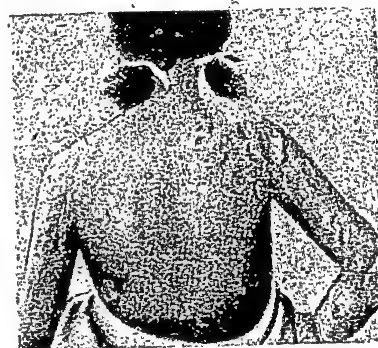
Макар че от действието на светлинното излъчване се поразяват предимно откритите места на човешкото тяло, в Хирошима и Нагазаки били отбелязани и случаи на обгаряне на кожа, защитена с един или даже с няколко пласта облекло, и то обикновено по тези места на човешкото тяло, към които дрехите прилепват плътно — по лактите, плещите и кръста (фиг. 39). Онези места (гърба), където дрехата свободно падала, били запазени.

Хората, облечени в тъмно облекло, получили по-силни обгаряния, от хората, облечени в бели дрехи или в дрехи със светли тонове (бялата дреха отразява повече светлинната енергия). У хора, облечени в многоцветни дрехи, местата от тялото, които се намирали под по-тъмния цвят, били по-силно обгорени. Има отбелязан случай, когато жена, облечена в шарена рокля, получила обгаряне по тялото само по тези места, които се намирали под тъмните шарки на плата (фиг. 40).

Степента на обгаряне на защитените места от човешкото тяло се определя до голяма степен от дебелината и плътността на дрехите. Например били отбелязани случаи, когато хора, облечени в защитен (зеленикав) цвят, не получили обгаряния на тялото, макар да се намирали на 1500 м от мястото на взрива (на това разстояние по откритите места на тялото се наблюдавали обгаряния от трета степен).

Действието на светлинното излъчване върху очите на хората при взрива на атомните бомби било

незначително. Даже тези хора, които гледали към взрива, само временно загубили зрението си. Това може да се обясни с обстоятелството, че очните вдлъбнатини са защитили очите от светлинното излъчване. Освен това действена защита оказва мигателният рефлекс. Времето за замижа-



Фиг. 39. Обгаряния от светлинното излъчване. Виждат се по-силните обгаряния на кожата в местата, където дрехите прилягат плътно към тялото (плещите и ръцете)

ване е по-малко от 0,1 сек., т. е. много пъти по-малко от времето на действие на светлинното излъчване. Многобройните обгаряния на веждите (а не на очите) в Хирошима и Нагазаки потвърждават факта, че при ярък блясък мигателният рефлекс има голямо значение за предпазване на очите от светлинното излъчване при атомния взрив.

Най-доброто средство за предпазване на очите от светлинното излъчване е никога да не се гледа огненото кълбо.



Фиг. 40. Обгаряния от светлинното излъчване. Кожата е обгорена само в местата, покрити от тъмните шарки на плата

3. ДЕЙСТВИЕ НА СВЕТИННОТО ИЗЛЪЧВАНЕ ВЪРХУ РАЗЛИЧНИ МАТЕРИАЛИ

Светлинното излъчване при атомния взрив може да причини не само обгаряния по тялото. То предизвиква запалване и обгаряне на различни горещи материали. Непосредствено на бойното поле под действието на светлинното излъчване може да се запалят или овъглят дървените части на оръжието и техническите средства, да обгори боята на танковете и другите предмети от въоръ-

жението, да е възпламенят покривките, гумените ролки на танковете, гумите на автомобилите.

Под действието на светлинното излъчване в сухо време може да възникнат пожари в горите и степите. На голяма опасност ще бъдат изложени складовете за гориво-смазочни материали, боеприпаси и друго имущество. Във военноморските бази може да се възпламенят пристанищни съоръжения, малки дървени плавателни средства, пирсове (товарно-разтоварни площадки). Може да се възпламенят брезентови покривки в корабите, дървени настилки, стожери, конопени въжета, различни предмети от скиперното имущество (бои, платна, масла, флагове, работни лодки и др.) и т. н. Светлинното излъчване не може да причини сериозни повреди на бойните корабни технически средства. В отделни случаи под прякото въздействие на светлинното излъчване е възможно да се овъглят гумените амортизатори, да обгорят или да потъмнеят бонте по корабите и т. н.

При взрив на атомна (водородна) бомба над летище може да обгорят лакираните площи по самолетите, платнените части на елероните (крилцата) и опасните плоскости, да се запалят покривките и завеските в кабините на самолетите, парашутните торби, бърсалките и т. н.

Под действието на светлинното излъчване в населените пунктове може да възникнат пожари поради подпалване на дървените постройки, оградите, плевните, складовете и т. н. На близки разстояния от центъра на взрива възникналите под действието на светлинното излъчване пламъци може да бъдат загасени от ударната вълна. Поради това на близки разстояния е малко вероятно пожарите да почнат от външната повърх-

ност на постройките. Главната опасност за пожари се крие в запалването на материали (завеси на прозорци, тапети, дрехи, обивки на мебели и пр.), които се намират в сградите и до които светлинното излъчване достига през прозорците. Приблизително 80—90% от падащата светлина, видима и близка до инфрачервената област на спектъра (до 3 микрона), се пропуска от стъклата на прозорците. А за възпламеняване на тюлени пердетата е необходим светлинен импулс, равен на 12—15 кал/см². Пожари в населените пунктове могат да възникнат и поради вторични причини — например от разтрошаването на печка и котли, от къси съединения в електрическата мрежа, от спукване на газопроводите и т. н.

Обаче броят на пожарите и общата площ, която може да пострада от огъня, ще зависят от много причини — от релефа на местността, в която е разположен градът, от здравината на сградите и от тяхната възпламенимост, от посоката на вятъра, от метеорологичните условия и т. н. Поради това е трудно предварително да се определи общата площ, която ще пострада от огъня.

Както вече беше отбелязано, за поразяване на различни материали са нужни различни светлинни импулси — например сива памучна тъкан гори при 10 кал/см² (2200 м), бяла памучна тъкан — при 17 кал/см² (1700 м), зелен габардин — при 10 кал/см² (2200 м), вълнен плат със защитен цвят при 15 кал/см² (2300 м), синтетичен каучук — при 8 кал/см² (2500 м). Бакелитът се овъглява при 75 кал/см² (700 м).

В скобите са дадени разстоянията от центъра на взрива, на които даденият материал ще се запали при взрив на атомна бомба с тротилов еквивалент

20 000 тона и при състояние на атмосферата, характеризиращо се с коефициент на отслабване $\kappa = 0,1 \frac{1}{\text{км.}}$

Посочените импулси са пресметнати за сухи материали. За да се нанесат същите поражения на влажни материали, са нужни импулси, няколко пъти (два-три и повече пъти в зависимост от влажността на материала) по-големи от посочените. Следователно в дъждовно време поражаваната от светлинното излъчване площ ще бъде по-малка не само поради отслабването на светлинното излъчване от атмосферата, но и вследствие на това, че за нанасяне на една и съща степен на поражение са нужни по-големи импулси. При надземен (надводен) атомен взрив разстоянията, на които се нанася същото поражение, са по-малки, отколкото при въздушен взрив, тъй като част от светлинната енергия се отразява и поглъща от праха, вдигнат от ударната вълна (фиг. 7). Взривът на атомна или водородна бомба във водата (земята) се различава съществено от въздушния взрив или земния (надводния) взрив. Външният вид на взрива зависи от дълбочината и площта на водния басейн, както и от дълбочината, на която е избухнала бомбата. Във всеки случай при взрив на голяма дълбочина — стотици метри — светлинните излъчки и проникващата радиация се поглъщат от близката до мястото на взрива вода и практически не оказват непосредствено поражение. При взрив във водата (земята) също се образува огнено кълбо, но енергията на светлинното излъчване отива за изпаряване на водата (земята). Разширяващите се пари или газове усилват механичното действие на взрива. В крайна сметка при взрива на атомна или водородна

бомба във водата (в земята) почти цялата енергия която се отделя при взрива, преминава в механична работа за свиване и преместване на околната среда. В това отношение подводният (подземният) взрив на атомната или водородната бомба прилича много повече на взрива на обикновено взривно вещество, отколкото въздушният, при който приблизително почти половината от енергията се отделя във вид на светлинно излъчване.

4. ЗАЩИТА ОТ СВЕТИННОТО ИЗЛЪЧВАНЕ ПРИ АТОМНИЯ ВЗРИВ

Въпреки че в сравнение с другите видове оръжие атомното оръжие е много по-мощно, има доста прости и сигурни средства и начини за защита от неговото въздействие. Боец, който до съвършенство е овладял тези защитни средства и начини, ще съумее успешно да действа на бойното поле в обстановка на противниково атомно нападение и да изпълнява бойната си задача. При разглеждане на поразяващите фактори при атомния взрив не може да се говори за защита от всеки фактор по отделно. Не може например да се говори за защита само от светлинното излъчване, а да не се държи сметка за другите фактори — ударната вълна, проникващата радиация и радиоактивното заразяване на местността. При атомен взрив на открита местност човек получава комбинирано поражение. Поради това противоатомната защита трябва да включва защитни мерки против всички поразяващи фактори.

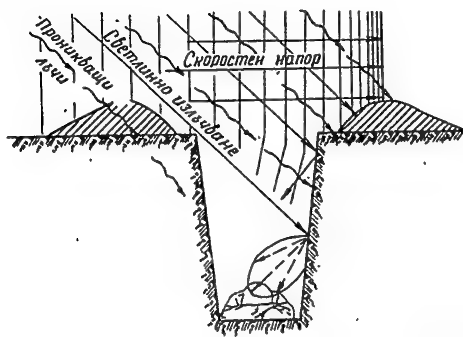
Вярно е, че не всички фактори действуват едновременно. Светлинното излъчване и проникващата радиация започват да действуват от момента на взрива и действието на светлинното излъчване продължава няколко секунди, а на проникващата

радиация 10—15 сек. Ударната вълна започва да действа след известно време в зависимост от разстоянието до центъра на взрива. Например ако човек се намира на 1 км от центъра на взрива, ударната вълна ще стигне до него след около 2 секунди, ако се намира на разстояние 2 км — след 5 секунди, а ако е на 3 км — след 8 секунди.

За защита от ударната вълна, проникващата радиация, светлинното излъчване и радиоактивните вещества на бойното поле се създават фортификационни съоръжения, които са основните средства за защита на хората, бойната техника, оръжието и имуществото от атомния взрив. Към фортификационните съоръжения се отнасят системите от траншеи и ходове за съобщение с подбрустверни ниши и блиндажи, както и различните видове убежища и тесни окопи. На фиг. 41 е изобразен схематично профилът на траншея. От фигурата се вижда, че стръмните стени на траншеята предпазват от прякото действие на светлинното излъчване. Дебелината на почвата при среза значително ослабва дозата проникваща радиация. Хората в траншеите са защитени от скоростния напор на ударната вълна, което доста чувствително намалява поражаващото ѝ действие. Благодарение на тези свойства на земните укрития системата от траншеи и ходове за съобщение е основа на инженерното укрепяване на позициите и на районите за разполагане на войските при опасност от атомно нападение.

При разполагане на войските в открит тип траншеи и окопи безопасното разстояние от мястото на взрива е 1,5 — 2 пъти по-малко, отколкото при разполагането им на открита местност. Защитните свойства на инженерните съоръжения може още повече да се усилят.

Всъщност може ли да се каже, че като се осигури защитата против преките лъчи на светлината, ние напълно изключваме поражаващото действие на светлинното излъчване? Това не може

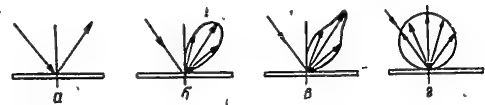


Фиг. 41. Траншеята ослабва поражаващото действие на атомния взрив

да се каже. В действителност лъчите, които падат върху стръмните стени на траншеята, частично се отразяват от тях (това е означено с пунктирани стрелки на фиг. 41). Отразената част от светлинното излъчване може да нанесе поражение (обгаряне) на човек, който се намира на дъното на траншеята. При едно и също количество светлинни излъчки, падащи върху стръмните стени на траншеята, степента на нанесеното поражение върху човек, който се намира в нея, зависи от отражателната способност на стените ѝ. Отражателната способност на материалите се характеризира, както вече беше казано, с коефициента на отражението и освен това с разпределението на

отразената светлина в пространството спрямо точката на падането на лъча.

В зависимост от характера на пространственото разпределение на отразената светлина отражението бива **насочено**, **разсеяно** и **смесено**. Видовете отражения са показани на фиг. 42.



Фиг. 42. Видове отражения:

а — насочено, б — насочено разсеяно, в — смесено, г — напълно разсеяно

Всеки вид отражение, както и коефициентът на отражението, зависи от състава и състоянието на повърхността на телата, а също и от ъгъла на падането α и ъгъла на отражението β . **Насочено (огледално) отражение** имат гладките полирани повърхности. Огледалното отражение (фиг. 42) се подчинява на известния от физиката закон — падащият лъч, нормалата към отразяващата повърхност и отразеният лъч лежат в една равнина; ъгълът на падането е равен на ъгъла на отражението. При огледално отражение посоката на отразения лъч зависи от посоката на падащия лъч. **Разсеяното отражение** се характеризира с това, че при отражението пространственият ъгъл, в който се разпространява отразеният лъчист поток, се увеличава. Особен интерес представляват двата частни вида разсеяно отражение — **насочено разсеяно** и **напълно разсеяно**.

Насочено разсеяното отражение се характеризира с концентриране на отразения поток в

някакъв пространствен ъгъл, посоката на чиято ос се определя по законите за насоченото отражение (фиг. 42, б). Към предметите, които дават насочено отражение, се отнасят матовите метални повърхности, самолетните повърхности, лакираните площи.

Напълно разсеяното (дифузното) отражение се характеризира с разпространяване на отразения лъчист поток в пълен пространствен ъгъл 2π , намиращ се от едната страна на плоското тяло, отразяващо потока. Отразеният поток образува тяло — кълбо, — което се допира до отражаващата повърхност в точката на падането на лъча (фиг. 42, з).

В природата няма тела, даващи напълно разсеяно отражение. Към веществата и предметите, които дават отражение, много близко до напълно разсеяното, се отнасят алабастрът (дребнозърнест гипс), бялата мушама, магнезиевият окис, кредата, суха изорана и бранувана земя, пясъкът, пресният сняг и т. н.

Смесеното отражение е съставено от насочено и разсеяно отражение (фиг. 42, в). Смесено отражение дават млечното стъкло, някои видове почва във влажно състояние и при големи ъгли на падане на светлинния поток, водните повърхности и т. н. Сложно е отражението от земните покривки: пясък, трева и т. н. В него влизат всички видове отражения, като се започне от насоченото и се свърши с напълно разсеяното. На фиг. 43 са дадени за пример кривите на отражението на светлинния поток от суха глина. Всяка крива на фиг. 43 отговаря на определен ъгъл на падане на светлината α . Ъгъл β , който се отчита от хоризонта, е ъгълът, с който се определя големината на отразения светлинен поток.

От разглеждането на кривите, показани на фиг. 43, може да се дойде до следните изводи: — при големи ъгли на падането α сухите покривки отразяват светлината предимно в посоката,



Фиг. 43. Разпределение на отразената енергия в пространството при различни ъгли на падане (α) и ъгли на отражение (β) на лъчите

от която идва светлинният сноп (към източника на светлината), а влажните — в обратна посока; — нормално (перпендикулярно) осветените повърхности ($\alpha=0$) дават приблизително симетрична спрямо нормалата крива на разпределението на отразената светлина.

Лесно се вижда колко е сложно отражението на светлината от земните покривки. То зависи от вида и състоянието на покривката, от ъгъла на падането α и от ъгъла на отражението β .

Следователно не трябва да се смята, че като е осигурена защитата от преките лъчи в открит окоп или траншея, може напълно да се избягнат

пораженията от светлинното излъчване при атомния (водородния) взрив. Още по-малко това може да се каже за облачно време. В открит окоп или траншея в момента на атомния взрив трябва да се залегне с лице надолу, за да бъде по-малко поражението от онази част на светлинното излъчване, която се отразява от стръмните стени на траншеята и от облаците, както е показано на фиг. 44.

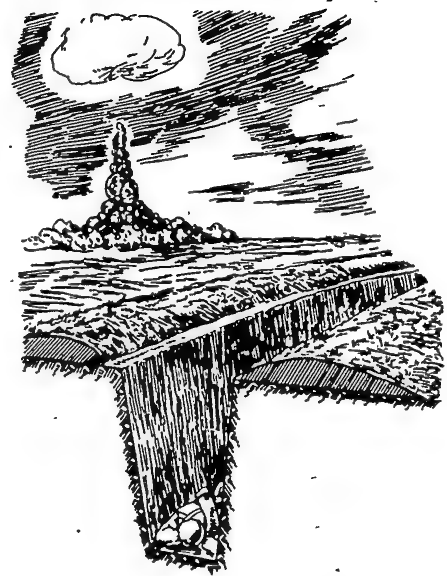
По какъв начин могат да се усилят защитните свойства на фортификационните съоръжения? Това се постига отчасти чрез устройване на покрити тесни окопи или на покрити отделни участъци от траншеята близо до огневите позиции на стрелковите, минохвъргачните, картечните и другите поделения. Дължината на покритите участъци от траншеите е 10—12 м. Покритията се изработват от дебели върлини или греди, наредени плътно една до друга направо на земята напречно на окопа или траншеята и засипани отгоре с пръст. Слойт пръст трябва да бъде такъв, че общата дебелина на покрива да не бъде по-малко от 50 см.

Трябва да се има предвид, че покритият окоп или покритият участък от траншея не само напълно изключва действието на светлинното излъчване, но и по-сигурно предпазва от проникващата радиация, от ударната вълна и до известна степен от радиоактивния прах.

Траншеите и ходовете за съобщение не трябва да имат резки чупки, тъй като в тези места те лесно се разрушават от ударната вълна.

През зимата покривите на участъците от траншеите може да се изработват от сняг. За тази цел над определените места от траншеите се изработват сводове от фашины или шперплат, които след това се заледяват. Ледът се засипва със сняг

и снегът се трамбува добре. За да се влияят по-малко от въздействието на ударната вълна, покривите на траншеите и ходовете за съобщение не



Фиг. 44. Укриване в траншея (окоп) при атомния взрив. Ако в момента на атомния взрив войникът се намира в траншеята или окопа, той трябва да легне на дъното

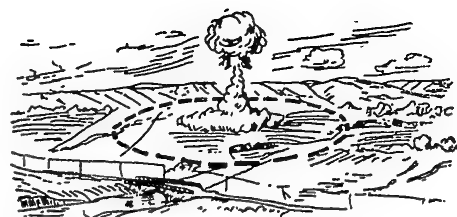
бива да се показват над бруствера на траншеите. Траншеите и ходовете за съобщение трябва да бъдат изкопани в пълен профил (дълбочина

1,5 м), а в покритите участъци и местата на блиндажите и убежищата да имат дълбочина до 1,8 м.

За повишаване устойчивостта на окопите, траншеите и ходовете за съобщение срещу ударната вълна стръмните стени в слабите почви се укрепяват—облицоват се с пръсти, дъски, плетове, тръстикови рогозки, камъци, щитовете от вършини и т. н. Коловете, които държат облицовката, се заякчават с телени обтегалки.

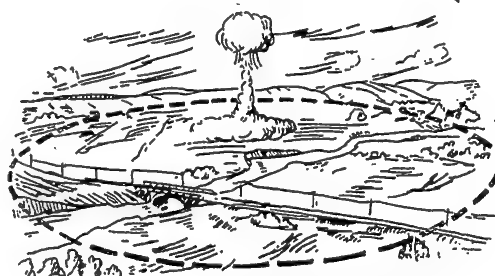
Всички открити дървени части на отбранителните съоръжения за защита от светлинното излъчване непременно трябва да се измажат с глина (пръст) или с варов разтвор, а в облицовката на стръмните стени се оставят през всеки 40—50 м противопожарни междини с дължина 1—2 м. Около отбранителните съоръжения, намиращи се в гора, се разчистват съчките, шумата и сухата трева, а в населени пунктове се събарят леките дървени постройки и огради. Откритите дървени части на постройките също се измазват с пръст, варов разтвор или с друг невъзпламеняващ се разтвор.

Ако в момента на атомния взрив хората се намират в покрити окопи и участъци от траншеи или в подбрустверни ниши, безопасното разстояние от епицентъра на взрива в сравнение с разстоянието, когато те са на открито, ще бъде приблизително 2—3 пъти по-малко, а поражаемата площ, както е показано на фиг. 45, ще бъде 4—9 пъти по-малка. В покритите окопи, траншеи и подбрустверни ниши защитата от радиоактивния прах се осигурява с използването на индивидуалните защитни средства — противогази, наметала, защитни чорапи и т. н. При по-нататъшното усъвършенстване на окопите и траншеите за защита от ударната вълна, проникващата ради-



Площ на която може да бъдат поражени хора във фортификационни съоръжения

4—9 по-малко



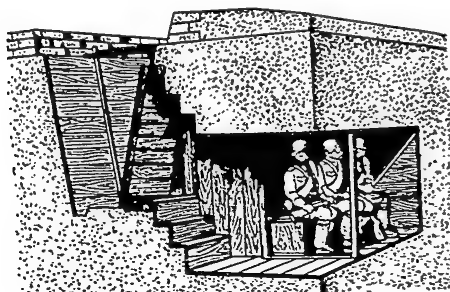
Площ на която е възможно поражение на хора извън фортификационни съоръжения

Фиг. 45. Обикновените фортификационни съоръжения намаляват площта на възможното поражение на хората 4—9 пъти

ация и радиоактивния прах се устройват подбруст-
верни ниши (фиг. 46) и блиндажи (фиг. 47) със
здрава облицовка на землените стени и покри-
вите. Дебелината на пръстта върху покрива
трябва да бъде най-малко 100 см за по-сигурна
защита от поразяващите фактори на атомния взрив.



Фиг. 46. Подбрустерна ниша



Фиг. 47. Подбрустверен блиндаж

Още по-сигурна защита дават убежищата. Всич-
ки убежища (скривалища) се правят обикновено
подземни със здрави стени и покриви. Дебели-
ната на пръстта над тях трябва да бъде най-малко
1,5 м. Входелите на блиндажите и убежищата се
затварят със здрави врати.

За защита на оръдия, танкове, автомобили и
други технически средства се устройват окопи и
укрития. Боеприпасите, гориво-смазочните ма-
териали, хранителните припаси и фуражът се
укриват в тесни окопи, ровове или ниши.

За защита от светлинното излъчване съдовете
с гориво-смазочни материали е целесъобразно да
се засипват най-малко с 20 см пръст. За екипажите
на танковете и самоходните артилерийски уста-
новки сигурна защита дава бронята. За противо-
атомна защита в населените пунктове се устрой-
ват следните защитни съоръжения:

- а) скривалища под различни сгради;
- б) специално построени отделни скривалища;
- в) укрития от прост тип (тесни окопи, блин-
дажи).

Тези убежища трябва да отговарят на всички
изисквания на противоатомната защита.

В големите градове най-масов вид скривалища
са скривалищата под жилищните домове, учи-
лищата, учрежденията и други солидни сгради
(избените скривалища).

Избените скривалища са прости и същевре-
менно доста сигурни защитни средства против
атомното оръжие.

В сравнение с убежищата в открита местност
те трябва да отговарят на някои допълнителни
изисквания.

Покритието над избените скривалища трябва
не само да ослабва проникващата радиация до

допустимата, но и да бъде толкова здраво, че на определено разстояние от мястото на взрива да издържа ударната вълна и ако сградата бъде разрушена, да не се срути под тежестта на съборените стени, плочи и други останки от нея. Ако покритието не е достатъчно здраво, то се усилява с допълнителни колони или по друг начин. В този случай е най-изгодно да се строят скривалища под сгради с метални и железобетонни конструкции.

За предпазване от пожар, който може да възникне в сградата, покритието на скривалищата се прави от огнеупорни материали — бетон или железобетон — и се засипва отгоре с пясък или пръст, които го запазват от бързо нагряване.

При устройване на избено скривалище особено внимание се обръща върху осигуряването на възможност за излизане от него, в случай че се срутят горните етажи на сградата и бъдат затрупани изходите на скривалището. За тази цел освен главния изход в скривалището се устройват и няколко запасни изходи.

Често в скривалищата се изработват подземни аварийни проходи (през които се минава пълзешком), чийто изход се отдалечава от стените на сградата (най-малко на половината от височината ѝ) и се прави на такова място, което не може да бъде затрупано от отломъците на разрушената сграда.

Ако сградите нямат подходящи избени помещения, може да се построят настрана от тях отделни скривалища.

За да се намали опасността от едновременно срутване, всички избени и отделни скривалища се разделят на отделения с дебели преградни стени.

Скривалището може да бъде снабдено с филтрововетрителна уредба. Особено внимание се обръща върху отстраняването на възможността за проникване на радиоактивни вещества през вратите. За тази цел при главния вход на скривалището се устройва преддверие с две врати: външна защитно-херметична врата и вътрешна херметична врата. Първата предпазва от действието на ударната вълна и от проникването на радиоактивни вещества, а втората спира-само проникването на радиоактивни вещества, поради което се прави по-лека.

В скривалището се прокарва акумулаторно електрическо осветление. Освен това то се снабдява с противопожарен инвентар и аварийни инструменти: брадви, лостове, кирки и т. н.

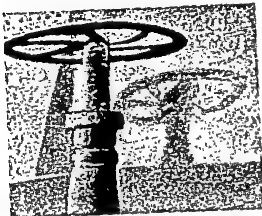
В населените пунктове доста сигурни защитни средства са укритията от прост тип, като покритите окопи и блиндажи. Те се правят на отдалечение от сградите, не по-малко от половината им височина. Трябва да се има предвид, че всички покрити убежища от какъвто и да е тип изключват напълно действието на светлинното излъчване при атомния взрив.

Но не само изкуствените съоръжения дават сигурна защита против атомния взрив. Доста ефикасно защитно средство са и неравностите на местността (оврази, хълмове, ровини, насипи, ями от бомби и снаряди и т. н.). Те могат напълно да изключат пораженията от ударната вълна и проникващата радиация, както и обгарянията от светлинното излъчване.

За укрития в планините се използват пещерите и различните изкопни минни съоръжения.

Отличителната особеност на обгарянията от светлинното излъчване е тази, че те са строго

ограничени по незащитените места на кожата, които са били обърнати към центъра на взрива (източника на светлинното излъчване). Такива обгаряния носят името „профилни обгаряния“. По закритите или засенчените места на тялото обикновено не се появяват обгаряния. Това



Фиг. 48. Светлинното излъчване се разпространява праволинейно. Боята на газголдера е изгоряла, а местата, засенчени от вентила, са останали невредими

е лесно обяснимо, като се има предвид, че светлинното излъчване се разпространява праволинейно и следователно действа главно върху незащитените части на кожата. Характерен случай, който потвърждава праволинейното разпространение на светлината при атомния взрив, е показано на фиг. 48.

Може да се приведат следните примери за „профилни обгаряния“ в градовете Хиросима и Нагазаки:

Човек седял и пишел на прозореца: ръцете му силно обгорели, а лицето и шията му, които били съвсем открити, обгорели съвсем слабо, понеже тъгълът, под който падали лъчите, бил такъв, че те не оказали съществено въздействие върху трупа и лицето (тъгълът на падането бил голям).

Полуоблечени войници, които се намирали на 1800 м от мястото на взрива, обгорели само от едната страна — тази, която била обърната към огненото кълбо. На фиг. 49 е показано „профилно обгаряне“, получено под въздействието

на светлинното излъчване. Шапката се оказала достатъчна да предпази горната част на главата от обгаряния.

Изобщо човек, който се намира в сянка, създадена от какъвто и да е предмет, може напълно



Фиг. 49. „Профилни обгаряния“. Шапката е предпазила от обгаряне горната част на главата

да избегне обгарянията при разпространението на светлинното излъчване.

Трябва да се помни, че всяка непрозрачна преграда, която предпазва от прякото действие на светлината, в повечето случаи напълно изключва обгарянията. Обикновеното облекло също оказва защитно действие срещу светлинното излъчване при атомния взрив.

Ще разгледаме сега въпроса, как да се действа при атомния взрив.

От момента на избухването на атомната бомба до идването на ударната вълна, както вече беше казано, преминават няколко секунди (времето зависи от разстоянието до мястото на взрива и от калибъра на бомбата). Обаче това време позволява да се заемат с няколко крачки най-близкото укритие (окоп, ров, блиндаж, убежище). Макар че светлинното излъчване и проникващата радиация почват да действуват от момента на взрива, понеже действието им продължава само няколко секунди (светлинното излъчване трае около 3 сек., а проникващата радиация 10—15 сек.), бързото укриване може до голяма степен да ослаби действието на тези поразяващи фактори. Поради това е необходимо без забавяне да се използват укритията.

Ако наблизо няма окоп, траншея, блиндаж или убежище, добри укрития са ямите, канавките, ровинките, могиликите, насипите, бойните технически средства. На дадените по-долу фигури са посочени редица положения на войника, които значително намаляват действието на атомния взрив.

На фиг. 50 е показано положението на войник в яма при атомен взрив.

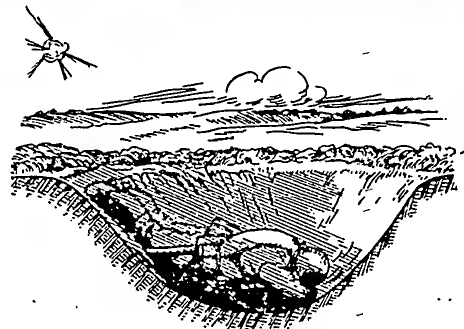
На фиг. 51 е показано положението на войник в крайпътна канавка.

На фиг. 52 е показано положението на войник, който се е укрил зад пън.

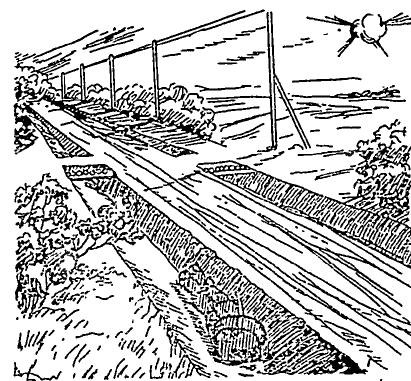
На фиг. 53 е показано положението на войник, укрил се зад могила.

Достатъчно сигурна защита представляват танковете и самоходните артилерийски установки (фиг. 54).

На кораб за защита от атомния взрив трябва да се използват надстройките, торпедните апарати,



Фиг. 50. Укриване в яма при атомен взрив

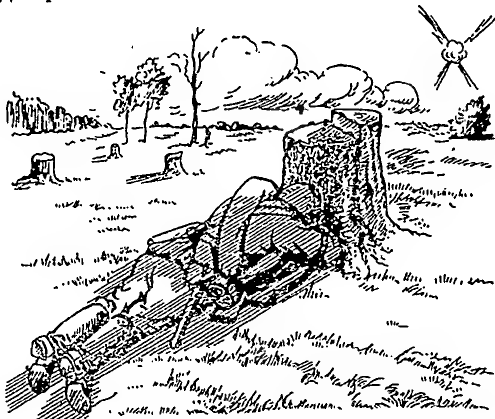


Фиг. 51. Укриване в крайпътна канавка при атомен взрив

артилерийските кули и различните видове бронева защита.

На фиг. 55 е показано положението на моряк зад корабна надстройка.

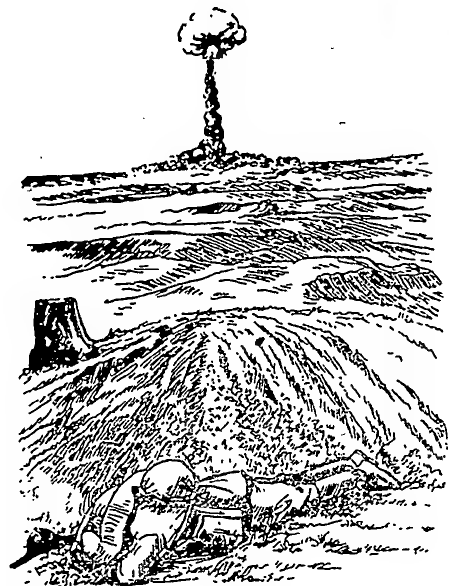
На фиг. 56 е показано положението на моряк зад торпеден апарат.



Фиг. 52. Укриване зад пѣн при атомен взрив

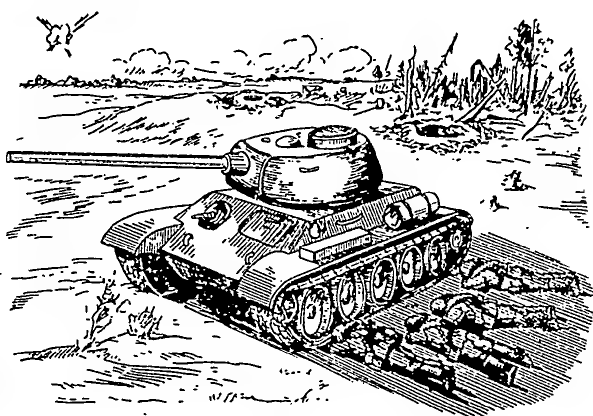
Надеждна защита представляват артилерийските кули (фиг. 57).

Трябва да се помни, че около 85% от светлинната енергия се излъчва за около една секунда след взрива. Поради това при виждане на блясъка е нужно бързо, без всякакво забавяне, да се заеме убежище, намиращо се на две-три крачки. Ако наблизо няма никакво убежище, не бива в никакъв случай да се бяга, за да се търси място



Фиг. 53. Укриване зад могилка при атомен взрив

за укриване. Трябва бързо да се залегне с лице надолу и с краката в посока на взрива, както е показано на фиг. 58. Китката на ръцете се скриват под тялото, а очите се затварят, понеже е възможно да се загуби временно зрението. Спазването на това правило значително намалява поражението от ударната вълна и предпазва откритите места по тялото (лицето, ръцете) от светлинното излъчване.

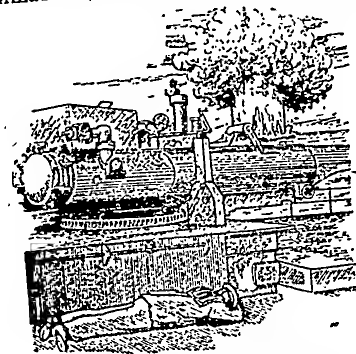


Фиг. 54. Укриване зад танк при атомен взрив

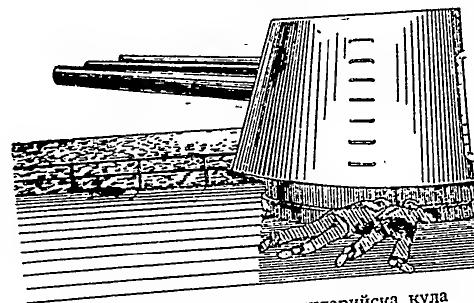


Фиг. 55. Укриване зад корабна надстройка при атомен взрив

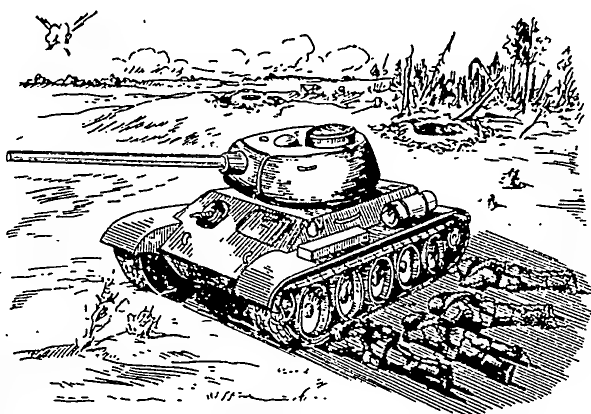
При виждане на блясъка намиращите се в танка трябва да затворят люка и жалюзите. Намиращите се в кабината на автомобил трябва да се снишат под стъклото, за да се избягнат



Фиг. 56. Укриване зад торпеден апарат при атомен взрив



Фиг. 57. Укриване зад артилерийска кула при атомен взрив

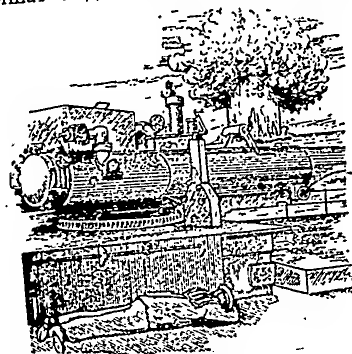


Фиг. 54. Укриване зад танк при атомен взрив

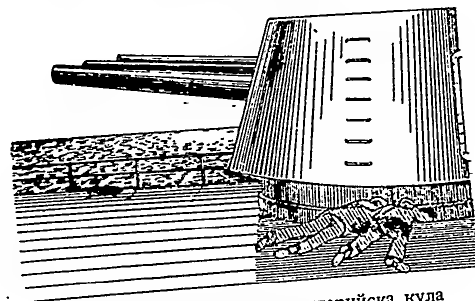


Фиг. 55. Укриване зад корабна надстройка при атомен взрив

При виждане на блясъка намиращите се в танка трябва да затворят люка и жалюзите. Намиращите се в кабината на автомобил трябва да се снишат под стъклото, за да се избягнат

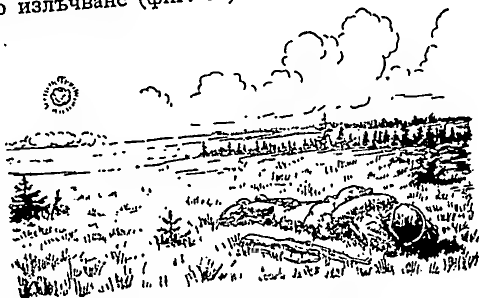


Фиг. 56. Укриване зад торпеден апарат при атомен взрив

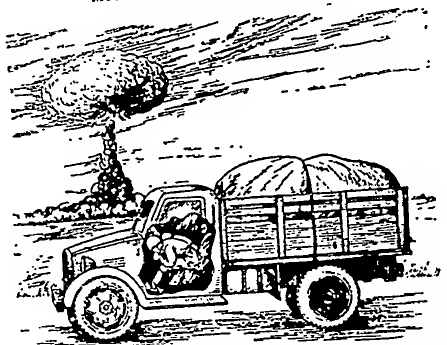


Фиг. 57. Укриване зад артилерийска кула при атомен взрив

пораженията от разтрошеното стъкло и светлинното излъчване (фиг. 59).

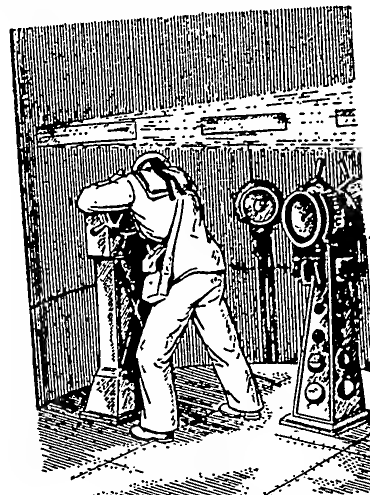


Фиг. 58. Най-изгодно положение на открит местност при атомен взрив



Фиг. 59. Най-изгодно положение в автомобил при атомен взрив

Намиращите се в каросерията на автомобил трябва да залежат на дъното. Ако не може да залежат, трябва да се свият на кълбо. Намиращият се в бойната рубка на кораб, щом види блясъка от атомния взрив, трябва веднага да се



Фиг. 60. Най-изгодно положение в бойната рубка на кораб при атомен взрив

снижи, както е показано на фиг. 60, за да се избегнат обгаряния от светлинното излъчване.

По сигнала на атомна тревога в населен пункт трябва незабавно да се потърси убежище. Ако

наблизо няма нарочни противоатомни убежища, може да се използват подземни изкопи, ровове, канавки, стръмнини и др. За защита от падналите радиоактивни вещества е необходимо да се употребят индивидуалните средства за противохимическа защита (противогази, наметала, чорапи, ръкавици и т. н.).

Ако сме на улицата, можем да се защитим от прякото действие на ударната вълна, светлинното излъчване и проникващата радиация, като се укрием бързо зад масивна преграда (насип, стена, ъгъл на сграда и т. н.).

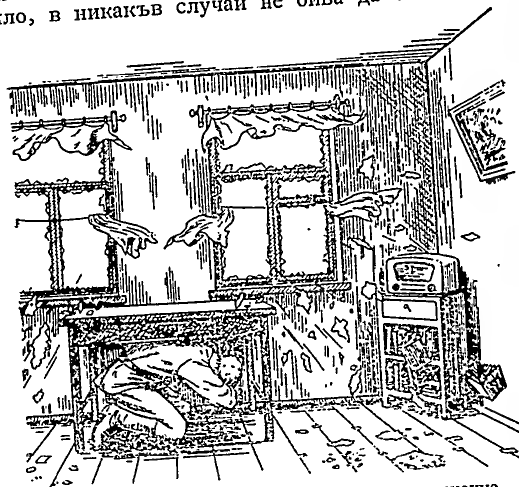
Ако в момента на взрива няма такава преграда непосредствено до нас (на 2—3 крачки), не бива да бягаме, а трябва да залегнем, както е показано на фиг. 58.

Във всички случаи трябва да се лежи неподвижно, докато премине ударната вълна.

Никога не бива да се търси с очи огненото кълбо, за да се избегне временната загуба на зрението от действието на извънредно ярката светлина. Ако сме в сграда, не трябва да стоим срещу прозореца, за да не пострадаме от светлинното излъчване, разтрошените стъкла, отломъците и ударната вълна, която нахлува през прозореца. При избухването трябва бързо да се скрием под маса или да залегнем до стена, както е показано на фиг. 61. Щом се прекрати падането на парчета от тавана, трябва да се излезе на открито и да се изпълнява бойната задача.

При запалване на обектото никога не бива да се бяга, понеже това само усилва горенето. Пламъкът трябва да се гаси, като горящото място се притиска о земята. Когато оказваме помощ на някой, трябва да метнем върху него платнище или шинел и плътно да го притиснем до тялото му,

както е показано на фиг. 62. Дрехата около обгореното място от тялото трябва да се изреже. На обгореното място се прави веднага превръзка, като се използва индивидуалният превързочен пакет. Ако дрехата е залепнала към обгореното тяло, в никакъв случай не бива да се отлепва,



Фиг. 61. Най-изгодното положение в помещението при атомен взрив

а превръзката трябва да се наложи върху дрехата. Не бива в никакъв случай да се пробиват мехурите, които са образувани по кожата.

Ако се запалят храсти, дървета, трева, облицовката на траншеите и окопите и друго имущество и технически средства, те се гасят с пясък, пръст, пожарогасители или с влажни метли и клони.

В населени пунктове след атомния взрив е възможно да възникнат многобройни пожари. Те може да бъдат предизвикани както от незагасени печки, примуси и други домакински нагревателни уреди, намиращи се в засегнатите сгради, така и от късо съединение в електрическата



Фиг. 62. Горящото облекло трябва да се гаси с платнище или шинел, които да прилепнат към тялото

инсталация, а може също да бъдат причинени непосредствено от светлинното излъчване. Броят на пожарите, причинени непосредствено от светлинното излъчване, зависи от характера на застрояването на града или населения пункт. В градове и населени пунктове с много дървени постройки ще избухнат много повече пожари. В градове, където няма или има малко дървени постройки, пожари от непосредственото действие на светлинното излъчване може да възникнат

вътре в сградите в резултат на проникването на светлинното излъчване през прозорците.

Борбата с пожарите се облекчава значително, ако своевременно са взети редица противопожарни мерки, имащи за цел да се намали възможността за пожар, да се създадат условия, затрудняващи разрастването на малките огнища в пожари, и да се облекчи борбата с пожарите.

Ще посочим някои от тези мерки. Както беше отбелязано, стъклата на прозорците пропускат 90% от падащата върху тях светлинна енергия от видимата и близката до инфрачервената област на спектъра (до 3 микрона). Същевременно стъклото почти напълно поглъща ултравиолетовите лъчи и дълговълновата (над 3 микрона) част на инфрачервения спектър.

Поглъщателната способност на стъклата на прозорците спрямо видимите и инфрачервените лъчи може да се повиши чрез варосване. В някои източници се отбелязва, че при плътност на варното мляко 350 грама на 1 м² стъклото ще пропусти приблизително ¹/₄ от всички лъчи, които падат върху него. Погълнатите лъчи могат да нагреят стъклото и то до завършване на излъчването да се напука и да се натроши. За това е необходимо стъклата да се облепят отвътре с плат или да се използват други методи за облепване.

В този случай могат да се очакват по-малко парчета от стъкла, които ще отхвъркнат от действието на ударната вълна. Варното мляко може да се приготви по следната рецепта: негасена вар, лой и вода в проценти 10:1:30 (сместа се намазва в два слоя от външната страна на прозореца).

Лесно запалителните предмети на корабите (покривки, настилки и т. н.) трябва да се поливат

периодично с вода от противопожарната магистрала, защото за запалване или овъгляване са нужни за влажните материали много по-големи (2, 3 и повече пъти в зависимост от влажността на материала) светлинни импулси, отколкото за сухите.

За борба с възникналите пожари от действието на светлинното излъчване, както и за предотвратяването им трябва да се вземат навреме противопожарни мерки. Например в горите, за да се прекрати разпространението на пожарите, може да се направят просеки, широки 5—10 м, които се разчистват от шумата, съчките и сухата трева, а в степите — да се разорат ограничителни ивици. Войските трябва да бъдат снабдени с противопожарен инвентар. Противопожарните мерки придобиват особено значение в населените пунктове. Там трябва да се опразнят от запалителни материали таванските и подстълбищните помещения. Откритите дървени конструкции на сградите и съоръженията, включително и запалителните конструкции на таваните, е добре да се напоят или намажат със специални огнеупорни състави или с влажна глина, за да се повиши устойчивостта им срещу огъня. Ако таванските покрития имат запалителни отоплители (торф, стърготини и др.), те трябва да се заменят с незапалителни или да се покриват с пласт от пясък, пръст и глина, дебел 10—15 см.

Някои дървени постройки (плевни, къщи, огради и др.), както беше вече казано, се разрушават, а други лесно запалителни обекти (опакосавачи, складове за дърва и др.) се вдигат на безопасно място или се покриват с огнеупорни брезенти.

Облеклото, книгите и други лесно запалителни предмети се прибират в плътно затварящи се

шкафове или сандъци. Всички излишни запаси от горивни материали трябва да се махнат от помещенията. В жилищата се разрешава да има малки количества газ в плътно затварящ се железен съд. Особено внимание трябва да се обърне върху разясняването на правилата за противопожарна безопасност и използването на най-простите пожарогасителни средства.

В населените пунктове трябва да бъдат предвидени мерки за гасене на пожари при повредена водопроводна мрежа.

След взрива на атомната бомба могат да възникнат пожари едновременно на много места. Не бива да се разчита обаче, че пожарните команди ще успеят сами да се справят с пожарите, които могат да обхванат район от няколко километра. На пожарните команди трябва да се помага. Нужно е навреме да се откриват и ликвидират и най-малките пожарни огнища, преди да се разраснат.

Не бива да се забравя една от поуците, които ни дадоха атомните бомбардировки над Хиросима и Нагазак. Там поради разрушаването на сградите били повредени водопроводните магистрали и водата спряла, а нямало водни запаси. Ето защо в отделни промишлени предприятия или градски райони следва да се подготвят цистерни или резервоари с достатъчна вместимост (в това отношение важна роля играят изкуствените езера), които да се напълнят предварително с вода, необходима за борба с пожарните огнища.

Спазването на тези правила значително намалява броя на жертвите и възможните пожари при взрива на атомната бомба.

Разбира се, не бива да се счита, че изложеното в този раздел изчерпва въпроса за защитата от

поразяващите фактори на атомния взрив, включително и от светлинното излъчване. Тук се дават само главните съображения по този въпрос. Обаче твърдото познаване на поразяващите фактори на атомния взрив и на особеностите в действието им винаги ще помогне да се направи разумен избор на методите за защита във всяка конкретна обстановка, за да се намалят жертвите и щетите, които нанася взривът.

* * *

Изложените в брошурата материали за поразяващото действие на светлинното излъчване при атомния (водородния) взрив, както и данните за действието на атомното оръжие в градовете Хиросима и Нагазаки и при опитни взривове показват, че този вид оръжие притежава значително по-голяма разрушителна сила в сравнение с обикновените оръжия.

Обаче и срещу атомното и водородното оръжие има достатъчно сигурни средства и начини за защита. Тези средства и начини са най-прости срещу действието на светлинното излъчване. Всяка непрозрачна преграда практически напълно запазва от светлинното излъчване при атомния взрив. Сложността се заключава в това, че светлинното излъчване започва да действа мигновено от момента на атомния взрив и действието му трае кратко време. Поради това то е особено опасно при внезапно атомно нападение.

Големите разрушения и жертви в градовете Хиросима и Нагазаки, както беше вече отбелязано в първата глава, се обясняват именно с пълната внезапност на атомното нападение, със свършената неподготвеност на тези градове за противоатомна защита и с особеностите на застроеността им (обикновените жилищни сгради имали дървени скелети със слаба връзка със земята, а покривите на сградите на свой ред имали слаба връзка със скелета и били направени от керемиди или слама).

Още веднаж трябва да се подчертае, че познаването на поразяващите фактори и умелото използване на средствата и начините за противоатомна

защита може рязко да намалят броя на жертвите от атомния взрив.

Атомното оръжие в ръцете на империалистите и опасността от използването му срещу Съветския съюз и страните с народна демокрация налагат целият личен състав на армията, флотата и авиацията непрекъснато да изучава свойствата на това оръжие, да познава поразяващите фактори, постоянно да подобрява противоатомната защита и да се намира в постоянна бойна готовност за водене на бойни действия в обстановката на атомно нападение.

ПРИЛОЖЕНИЕ

СПИСЪК НА ГЛАВНИТЕ ИЗТОЧНИЦИ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ РАБОТАТА НАД БРОШУРАТА „СВЕТЛИННОТО ИЗЛЪЧВАНЕ ПРИ АТОМНИЯ ВЗРИВ“

1. Атомное оружие, сборник статей. Военное Издательство Министерства Обороны СССР, 1955.
2. Физика действия ядерных сил, сборник статей. Военное Издательство Министерства Обороны СССР, 1954.
3. Вавилов С. И. Глаз и солнце, М.—Л., Издательство Академии наук СССР, 1950.
4. Оптика в военном деле. Сборник статей под ред. акад. С. И. Вавилова и проф. М. В. Севастьяновой, изд. 3-е, переработ. т. I, М.—Л., АН СССР, 1945.
5. Ландсберг Г. С. Оптика, изд. 3-е, переработ. Гостехиздат, 1954.
6. Элементарный учебник физики, ч. III, под ред. акад. Г. С. Ландсберга, Гостехиздат, 1952.
7. Фриш С. Э., Тиморева А. В. Курс общей физики, том III, Гостехиздат, 1953.
8. Глинка Н. Л. Общая химия. Изд. 7-е, Госхимиздат, 1955.
9. Лукьянов С. Ю. Фотоэлементы, М.—Л., АН СССР, 1948.
10. Суворов С. Г. О чем говорит луч света. Изд. 3-е, М., Гостехиздат, 1953.
11. Лазарев Д. Н. Ультрафиолетовая радиация и ее применение. М.—Л., Госэнергоиздат, 1950.
12. Федоров Б. Ф. Авиационная светотехника, ч. I, ВВИА им. Жуковского, 1953.
13. Марголин И. А., Румянцев Н. П. Основы инфракрасной техники. Военное Издательство Министерства Обороны СССР, 1955.
14. Андреев К. К. Взрыв и взрывчатые вещества. Военное издательство Министерства Обороны СССР, 1956.
15. Хргиан А. Х. Физика атмосферы, М., Гостехиздат, 1953.

16. Шаронов В. В. Видимость далеких предметов и огней. М.—Л. Военмориздат, 1944.
17. Шаронов В. В. Наблюдение и видимость. Воениздат, 1953.
18. Гертнер Г. Прозрачность замутненной атмосферы для инфракрасных волн. Перевод с немецкого. М.—Л., Госэнергиздат, 1949.
19. Шифрин К. С. Рассеяние света в мутной среде. Гостехиздат, 1951.
20. Атмосфера земли. Сборник статей. Госкультпросветиздат, 1953 г.
21. Вейцер Ю. И., Лучинский Г. П. Маскирующие дымы. М., Госхимиздат, 1947.
22. Кондратьев К. Я. Лучистая энергия солнца. Гидрометеониздат, 1954.
23. Кринов Е. Л. Спектральная отражательная способность природных образований. М.—Л., АН СССР, 1947.
24. Шорин С. Н. Теплопередача. Государственное Издательство литературы по строительству и архитектуре, 1952.
25. The Effects of Atomic Weapons. New York — Toronto—London, 1950.
26. Лоусон Д. И. Атомная бомба и пожары. Перевод с английского. Изд. иностранной литературы, 1955.

СЪДЪРЖАНИЕ

	Стр.
Предговор	3
Глава I. Особенности и поразящо действие на атомния взрив	11
1. Видове атомни оръжия	12
2. Физична-основа на атомното и водородното оръжие	13
3. Външен вид на атомния взрив	24
4. Поразяващи фактори при атомния взрив	29
5. Особенности в поразящото действие на атомния взрив	32
Глава II. Същност на светлината	42
1. Корпускулярна теория за светлината	42
2. Победа на вълновата теория	55
3. Електромагнитна теория за светлината	57
4. Скала на електромагнитните вълни	61
5. Светлинни кванти	65
6. Електронна обвивка на атома	73
7. Енергетични нива на атомите	78
8. Що е светлина?	92
Глава III. Температурни източници на светлината и закони за излъчване от тях	96
1. Закон за излъчване от абсолютно черно тяло	96
2. Температурни източници на светлина	105
3. Източник на светлинното излъчване при атомния взрив	112
Глава IV. Светлинно излъчване при атомния взрив	113
1. Температура и радиус на светещата област	115
2. Пълна енергия, която излъчва огненото къкло	123
3. Спектър на светлинното излъчване	126
4. Светлинни импулси	130
5. Ослабване на светлинната енергия при премитането ѝ през атмосферата	132
6. Светлинни импулси, пресметнати с включване на ослабването на светлинното лъчение от атмосферата	149

	Стр.
7. Големина на светлинния импулс в зависимост от калибъра на атомната (водородната) бомба. . .	153
8. Големина на светлинния импулс в облачно време	157
Г л а в а V. Поразяващо действие на светлинното излъчване при атомния взрив и защитни мерки против него	
1. Поглъщане на светлинната енергия от различните тела	161
2. Обгаряния под действието на светлинното излъчване	162
3. Действие на светлинното излъчване върху различни материали	173
4. Защита от светлинното излъчване при атомния взрив	178
Приложение. Списък на главните източници, използвани при работата над брошурата „Светлинното излъчване при атомния взрив“	182
	215

СВЕТЛИННО ИЗЛЪЧВАНЕ ПРИ АТОМНИЯ ВЗРИВ

Превел от руски Ц. Витков

Редактор: А. Димитров
Художник: Г. Марков
Худ. редактор: К. Майски
Тех. редактор: Ст. Манов
Коректор: Р. Михова

ЛГ-III

Формат: 16^о от 71/100
Тираж: 5000 экз.

Дадена за печат на 3. I. 1958 г.

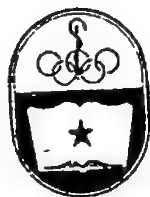
Издат. коли 8,48 Печатни коли 14,25
Издат. поръчка № 1280 Тех. поръчка № 612

Цена 3-40 лв.

Печатница на Държавното военно издателство при МНО

ЙОРДАН Д. ПЕНЧЕВ

ЗАДАЧИ
ПО
РАДИОТЕХНИКА



МЕДИЦИНА И ФИЗКУЛТУРА

ATTACHMENT NO. —

ИНЖ. ЙОРДАН Д. ПЕНЧЕВ

STAT

ЗАДАЧИ ПО РАДИОТЕХНИКА

ДЪРЖАВНО ИЗДАТЕЛСТВО „МЕДИЦИНА И ФИЗКУЛТУРА“
СОФИЯ • 1958

ИНЖ. ЙОРДАН Д. ПЕНЧЕВ

STAT

ЗАДАЧИ ПО РАДИОТЕХНИКА

ДЪРЖАВНО ИЗДАТЕЛСТВО „МЕДИЦИНА И ФИЗКУЛТУРА“
СОФИЯ • 1958

В сборника са поместени 217 задачи и 2 цялостни изчисления на любителски радиопредаватели и любителски радиоприемник. Повечето от задачите са решени и само една малка част от тях са без решение; отговорите на последните са дадени в края на сборника.

В задачите са разгледани въпроси от следните области на радиотехниката: трептящи кръгове, антени, електромагнитни вълни, електровакуумни уреди, радиопредаватели и радиоприемници. С малки изключения всички задачи се решават с методите на елементарната математика.

Сборникът е предназначен за радиолюбителите, запознати с основните положения на електротехниката и радиотехниката. Задачите са подбрани с оглед да се задоволят интересите на радиолюбителите при тяхната практическа работа. Сборникът може да бъде полезно помагало също и за радиомонтьори, радиотехници, ученици от техникумите и други читатели, които се интересуват от въпросите на радиотехниката.

ПРЕДГОВОР

Радиотехническата наука се овладява чрез изучаване на теоретичните ѝ положения, чрез практическа работа и експериментиране с различните радиоапаратури и измерителни уреди и чрез решаване на задачи. За овладяване на основните теоретични положения на радиотехниката всеки читател може да намери разнообразна и богата по съдържание техническа литература. Също така в различните учебни заведения, радиолюбителските клубове и на други места днес са създадени благоприятни материални условия за практическа работа. Досега обаче у нас липсваше учебно помагало за решаване на радиотехнически задачи. Настоящият сборник от задачи иде да запълни тази празнина.

Сборникът е нагоден да ползува предимно радиолюбителите. Той може да бъде полезен и за други читатели, които се интересуват от въпросите на радиотехниката. В него са поместени задачи от основните приложни области на тази наука. Повечето от задачите представляват решени образци, а една малка част са без решение. Отговорите на нерешените задачи са дадени в края на сборника.

Поради ограничения обем на книгата с поместените задачи се изясняват предимно основните въпроси на радиотехниката и се осветляват най-съществените страни на явленията и процесите в радиотехническите устройства. При това задачите са подбрани с оглед да могат да се решават с методите на елементарната математика. Затова книгата е достъпна за ползване от широк кръг читатели и на първо място от радиолюбителите.

За да се ползува успешно от сборника, читателят трябва предварително да е запознат с основните закономерности на електротехниката и да има добра теоретична подготовка по основните въпроси на радиотехниката. За да разбере читателят полезно задачите, в началото на всяка глава са дадени формулите за основните зависимости и съответни кратки обяснения. Трябва да се изтъкне, че много от задачите са свързани

В сборника са поместени 217 задачи и 2 цялостни изчисления на любителски радиопредавател и любителски радиоприемник. Повечето от задачите са решени и само една малка част от тях са без решение; отговорите на последните са дадени в края на сборника.

В задачите са разглеждани въпроси от следните области на радиотехниката: трептящи кръгове, антени, електромагнитни вълни, електровакуумни уреди, радиопредаватели и радиоприемници. С малки изключения всички задачи се решават с методите на елементарната математика.

Сборникът е предназначен за радиолюбителите, запознати с основните положения на електротехниката и радиотехниката. Задачите са подбрани с оглед да се задоволят интересите на радиолюбителите при тяхната практическа работа. Сборникът може да бъде полезно помагало също и за радиомонтьори, радиотехници, ученици от техникумите и други читатели, които се интересуват от въпросите на радиотехниката.

ПРЕДГОВОР

Радиотехническата наука се овладява чрез изучаване на теоретичните ѝ положения, чрез практическа работа и експериментиране с различните радиоапаратури и измерителни уреди и чрез решаване на задачи. За овладяване на основните теоретични положения на радиотехниката всеки читател може да намери разнообразна и богата по съдържание техническа литература. Също така в различните учебни заведения, радиолюбителските клубове и на други места днес са създадени благоприятни материални условия за практическа работа. Досега обаче у нас липсваше учебно помагало за решаване на радиотехнически задачи. Настоящият сборник от задачи иде да запълни тази празнина.

Сборникът е нагоден да ползува предимно радиолюбителите. Той може да бъде полезен и за други читатели, които се интересуват от въпросите на радиотехниката. В него са поместени задачи от основните приложни области на тази наука. Повечето от задачите представляват решени образци, а една малка част са без решение. Отговорите на нерешените задачи са дадени в края на сборника.

Поради ограничения обем на книгата с поместените задачи се изясняват предимно основните въпроси на радиотехниката и се осветляват най-съществените страни на явленията и процесите в радиотехническите устройства. При това задачите са подбрани с оглед да могат да се решават с методите на елементарната математика. Затова книгата е достъпна за ползуване от широк кръг читатели и на първо място от радиолюбителите.

За да се ползува успешно от сборника, читателят трябва предварително да е запознат с основните закономерности на електротехниката и да има добра теоретична подготовка по основните въпроси на радиотехниката. За да разбере читателят по-лесно задачите, в началото на всяка глава са дадени формулите за основните зависимости и съответни кратки обяснения. Трябва да се изтъкне, че много от задачите са свързани

с практиката на радиолюбителя. Посочен е методът за изчисляване на различни елементи от радиоприемниците и маломощните предаватели, като голяма част от примерите са из радиолюбителските вълнови обхвати. Посочен е и опростен метод за цялостно изчисление на радиолюбителски предавател и радиолюбителски приемник. Все с оглед сборникът да бъде полезно практическо помагало за радиолюбителя някои от задачите са във формата на словесен въпрос и отговор със съответно обяснение (липсва числено решение).

Авторът и издателството умоляват читателите да отправят своите критични бележки и препоръки до издателството, за да бъдат взети под внимание при евентуално ново издаване на сборника.

Октомври 1957 г.

Авторът

А. ТРЕПТАЩИ КРЪГОВЕ

1. СВОБОДНО ТРЕПЕНИЕ НА ЕДИНИЧЕН КРЪГ

В трептящия кръг на рис. 1 се създава свободно трепение след първоначалното зареждане на кондензатора му от право-токов източник. Две главни качества характеризират свобод-

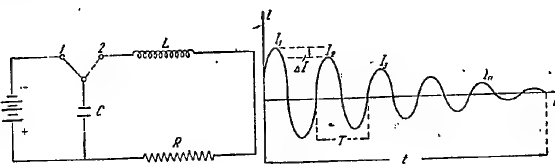


Рис. 1

ното трепение на кръга: 1) то се извършва с една точно определена собствена честота

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

и 2) то е затихващо. Степента на затихването на променливия ток в кръга се изразява с логаритмичния декремент, определен с формулите

$$\delta = \log_e \frac{I_1}{I_2} = \dots \log_e \frac{I_{n-1}}{I_n} \text{ или } \delta = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (2)$$

Броят на отделните трепения до пълното затихване на трепящия процес може да се изчисли с формулата

$$n = \frac{\delta}{\delta_1} \quad (3)$$

Понеже всяко отделно трептене трае време $T = \frac{1}{f}$, пълното времетраене на затихващото трептене ще бъде

$$t = nT. \quad (4)$$

При постепенното нарастване на активното съпротивление R броят на отделните пълни трептения постепенно намалява и при критичната стойност на това съпротивление

$$R_{\text{крит}} = 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad (5)$$

трептението става аperiodично (рис. 2); то е аperiodично и за $R > R_{\text{крит}}$.

Доброто качество на трептящия кръг се характеризира с качествения фактор Q и с реципрочната му величина $d = \frac{1}{Q}$, която се нарича коефициент на затихването. Същите се изчисляват с формулите:

$$Q = \frac{2\pi fL}{R} = \frac{\omega L}{R} \quad \text{и} \quad d = \frac{R}{2\pi fL} = \frac{R}{\omega L}. \quad (6)$$

Вълновото съпротивление Z_0 на кръга представлява отношение между максималната стойност на напрежението U_m и максималната стойност I_m на тока в кръга за време един период T . То се определя с формулата

$$Z_0 = \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ ома}. \quad (7)$$

Дължината на вълната λ , която може да бъде излъчена в пространството вследствие съществуването на трептене в кръга, се изчислява с формулата

$$\lambda = 1,884 \sqrt{LC}. \quad (8)$$

В тази формула капацитетът C се взема в пикофаради, индуктивността L — в микрохенри, а дължината на вълната се получава в метри.

Задачи

1. Елементите на даден трептящ кръг са: $L = 225 \text{ мкхн} = 0,000225 \text{ хн}$, $C = 400 \text{ пф} = 0,000000004 \text{ ф}$ и $R = 10 \text{ ома}$. Да се определят T , декрементът δ , Q -факторът, d -факторът,

критичното съпротивление $R_{\text{крит}}$, вълновото съпротивление Z_0 , и дължината на вълната λ .

Решение. а) Собствената честота на трептящия кръг е

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{6,28\sqrt{0,000225 \cdot 0,000000004}} = \frac{1}{6,28 \cdot 0,015 \cdot 0,00002} = 530\,000 \text{ хц} = 530 \text{ кхц}.$$

б) Всяко отделно трептене се извършва за време

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{530\,000} = 0,0000019 \text{ сек} = 1,9 \text{ мксек}.$$

в) Логаритмичният декремент на кръга се определя с формули 2:

$$\delta = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}} = 3,14 \cdot 10 \sqrt{\frac{0,000000004}{0,000225}} = 0,041.$$

г) Качественият фактор на кръга се определя с формула 6:

$$Q = \frac{2\pi fL}{R} = \frac{6,28 \cdot 530\,000 \cdot 0,000225}{10} = 74,8.$$

Последният резултат показва, че магнитната енергия в обината е 74,8 пъти по-голяма от излъчената през R топлинна енергия.

Факторът на затихването

$$d = \frac{1}{Q} = \frac{1}{74,8} = 0,013 = 1,33 \text{ \%}.$$

д) Дължината на вълната, определена с формула 8, е

$$\lambda = 1,884 \sqrt{LC} = 1,884 \sqrt{225 \cdot 400} = 1,884 \cdot 15 \cdot 20 = 555,2 \text{ м}.$$

е) Вълновото съпротивление е $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0,000225}{0,000000004}} =$

$= 750 \text{ ома}.$

ж) Критичното активно съпротивление на кръга е

$$R_{\text{крит}} = 2\sqrt{\frac{L}{C}} = 2Z_0 = 2 \cdot 750 = 1500 \text{ ома}.$$

Когато активното съпротивление достигне тази стойност, в кръга не е възможно да се образува трептене — кондензаторът се разрежда аperiodично (виж рис. 2).

2. Как ще се измени собствената честота на кръга, ако паралелно на кондензатора C се включи втори кондензатор със същия капацитет $C = 400 \text{ пф}$ (рис. 3, а)?

Решение. При успоредното свързване на кондензаторите става удвояване на кръговия капацитет. Съгласно формулата $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ при удвояване на C честотата f ще се понижи $\sqrt{2} = 1,41$ пъти. Следователно новата собствена честота на кръга ще бъде

$$f' = \frac{f}{\sqrt{2}} = \frac{530\,000}{1,41} = 376\,000 \text{ хц} = 376 \text{ кхц.}$$

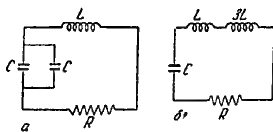


Рис. 3

3. Как ще се измени собствената честота на кръга, ако последователно в кръга се включи нова индуктивност L_2 , три пъти по-голяма от индуктивността $L_1 = 225 \text{ мкхн}$ (рис. 3, б)?

Решение. Общата индуктивност $L = L_1 + L_2 = 225 + 3 \cdot 225 = 900 \text{ мкхн}$ се е увеличила 4 пъти. Следователно съгласно формулата $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ честотата ще се понижи $\sqrt{4} = 2$ пъти:

$$f = \frac{530}{2} = 265 \text{ кхц.}$$

4. Колко пълни трептения ще се извършат в кръга, даден в задача 1, и колко време ще трае трептеливият процес до пълното му затихване?

Решение. Броят на трептенията се определя с формула 3:

$$n = \frac{5}{\delta} = \frac{5}{0,04} = 125.$$

Времетраенето на трептението съгласно формула 4 е

$$t = nT = 125 \cdot 1,9 = 237,7 \text{ мсек} = 0,24 \text{ мсек (милисекунди)}.$$

5. Свободното трептение в кръга на рис. 1 е обусловено от първоначално натрупаната енергия в заредения кондензатор. Възможно ли е да се произведе трептение в кръга и по друг начин?

Решение. Възможно е и чрез магнитно възбуждане (рис. 4). При затваряне и прекъсване на правотоковата верига чрез ключа K се получава изменящо се магнитно поле, което индуцира в бобината на кръга електродвижеща сила, която зарежда кондензатора, и по-нататък трептеливият процес се извършва по познатия начин.

6. Как може да се онагледят затихващият променлив ток на свободното трептение на кръга с помощта на осцилограф?

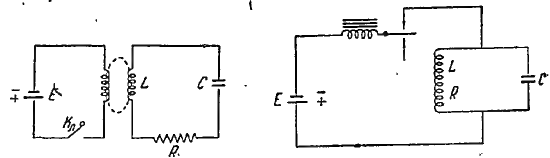


Рис. 4

Рис. 5

Решение. Понеже свободното трептение трае извънредно кратко време, то не може да остави забележима следа върху екрана на осцилографа. За това е необходимо в кръга да се произвежда многократно (непрекъснато) поредица от свободни затихващи трептения. За целта може да се употреби схемата на рис. 5: между кръга и правотоковия източник се включва периодичен прекъсвач (вибратор) с назначение през определени интервали от време да изпраща правотокови възбуждащи импулси към кръга. Повтарящите се през такива интервали затихващи трептения остават една трайна неизчезваща следа на едно единствено затихващо трептение върху екрана на осцилографа (разбира се, за получаване на неподвижен образ е необходимо да се постигне съответна синхронизация).

7. Да се определи логаритмичният декремент δ на даден трептящ кръг с помощта на графическото изображение на свободното му трептение върху екрана на осцилографа (рис. 1).

Решение. Между две съседни амплитуди I_1 и I_2 съществува разликата $\Delta I = I_1 - I_2$. От определеното на логаритмичния декремент (формула 2) следва, че по-малката амплитуда I_2 може да се представи като произведение от предшестващата амплитуда I_1 и степента $e^{-\delta}$. Следователно

$$\Delta I = I_1 - I_2 = I_1 - I_1 \cdot e^{-\delta} = I_1 (1 - e^{-\delta}).$$

Понеже декрементът δ е твърде малка величина, степента $e^{-\delta}$ е число твърде близко до 1, но по-малко от 1. Доказва се, че при първо приближение разликата $1 - e^{-\delta}$ се равнява на самия логаритмичен декремент: $1 - e^{-\delta} = \delta$. Оттук следва зависимостта:

$$\Delta I = I_1(1 - e^{-\delta}) = I_1 \cdot \delta.$$

От последната зависимост намираме и големината на логаритмичния декремент:

$$\delta = \frac{\Delta I}{I_1}. \quad (9)$$

Понеже според диаграмата на рис. 1 отношението $\frac{\Delta I}{I}$ се равнява на 0,2, следва, че и самият декремент δ има стойност 0,2.

Забележка. Висококачествените трептящи кръгове, употребявани в радиопаратурите, имат незначителен декремент — $\delta \approx 0,01$.

8. Кръговете в разгледаните по горе задачи имат високи собствени честоти, защото елементите им L и C са незначителни. Ниски (звукови) честоти могат да се получат с трептящи кръгове с големи индуктивности (нормално бобините са с железни сърцевини) и големи capacitети. Да се определи честотата на кръга, ако $L = 64 \text{ мХ}$ и $C = 10\,000 \text{ пФ} = 0,00000001 \text{ ф}$.

Решение.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{6,28\sqrt{64 \cdot 0,00000001}} = 200 \text{ кГц}.$$

9. Радиолюбител има кондензатор с capacitет 300 пФ. Същият желае да си приготви кръг, настроен на честотата на националния радиопредавател „Христо Ботев“ $f = 827 \text{ кГц}$. Каква индуктивност трябва да има бобината?

Решение. Стойността на L се определя с формула 1, като същата се повдига в квадратна степен:

$$f^2 = \frac{1}{(2\pi)^2 LC},$$

откъдето

$$L = \frac{1}{f^2 \cdot (2\pi)^2 C} = \frac{1}{827^2 \cdot 6,28^2 \cdot 0,000000003} = 0,000122 \text{ Х} = 122 \text{ мкХ}.$$

10. Радиолюбител си строи трептящ кръг за приемник, настроен на вълна $\lambda = 42,86 \text{ м}$. Какъв capacitет трябва да има кръгът, ако бобината има $L = 10 \text{ мкХ} = 0,00001 \text{ Х}$?

Решение. Capacitetът се определя с уравнение 8, което се повдига в квадрат:

$$\lambda^2 = 1,884^2 LC,$$

откъдето

$$C = \frac{\lambda^2}{1,884^2 \cdot 10} = \frac{42,86^2}{1,884^2 \cdot 10} = 51,8 \text{ пФ}.$$

11. Колко навивки трябва да има бобината от задача 10, ако тя е еднослойна, дължината ѝ е $l = 1,5 \text{ см}$, а средният радиус $r = 0,5 \text{ см}$ (рис. 6, а).

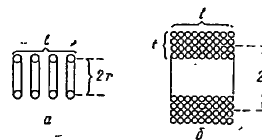


Рис. 6

Решение. Броят на навивките w за бобини, употребявани в приемниците, се определя с формулата

$$L = \frac{r^2 w^2}{2,54(9r + 10l)}, \quad (10)$$

откъдето

$$w = \sqrt{\frac{2,54 L(9r + 10l)}{r^2}} = \sqrt{\frac{2,54 \cdot 10(9 \cdot 0,5 + 10 \cdot 1,5)}{0,5^2}} = 44.$$

12. Колко навивки трябва да има бобината от задача 9, ако тя е многослойна, дължината ѝ е $l = 1,5 \text{ см}$, средният радиус $r = 1 \text{ см}$, а дебелината $t = 0,5 \text{ см}$ (рис. 6, б).

Решение. Броят на навивките на многослойната бобина се определя с формулата

$$L = \frac{0,315 r^2 w^2}{(6r + 9l + 10t)}, \quad (11)$$

откъдето

$$w = \sqrt{\frac{L(6r + 9l + 10t)}{0,315 \cdot r^2}} = \sqrt{\frac{122(6 + 13,5 + 5)}{0,315 \cdot 1^2}} = 99.$$

13. Колко голямо е активното съпротивление R на кръга, ако Q -факторът му е 100, индуктивността $L = 200 \text{ мкХ}$, capacitетът $C = 556 \text{ пФ}$?

14. Амплитудата U_m на напрежението в кръга е 20 в. Колко голяма е амплитудата I_m на променливия ток в кръга, ако $L = 450 \text{ мкхн}$ и $C = 800 \text{ пф}$? (Упътване: да се използва формула 7).

15. Кондензаторът на третия кръг е въртящ се (с променлив капацитет). Колко пъти се променя собствената честота на кръга, ако при отворен ротор минималният капацитет е $C_{\min} = 40 \text{ пф}$, а при затворен ротор максималният капацитет е $C_{\max} = 360 \text{ пф}$?

2. СВОБОДНО ТРЕПЕНИЕ НА СВЪРЗАНИТЕ КРЪГОВЕ

Коефициентът на свързката при индуктивно свързване кръгове (рис 7, а) се определя с формулата

$$\kappa = \frac{M}{M_{\max}} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}, \quad (12)$$

където M е коефициентът на индуктивността, зависещ от взаимното разположение на двете бобини.

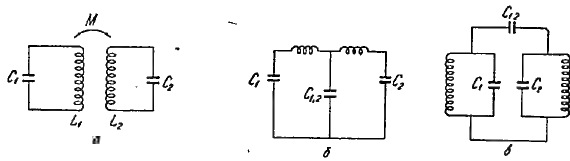


Рис. 7

При вътрешна капацитивна връзка (рис 7, б) коефициентът κ се определя с формулата

$$\kappa = \sqrt{\frac{C_1 \cdot C_2}{(C_1 + C_{12})(C_2 + C_{12})}}, \quad (13)$$

а при външна капацитивна връзка (рис. 7, в) същият коефициент κ се определя с израза

$$\kappa = \frac{C_{12}}{\sqrt{(C_1 + C_{12})(C_2 + C_{12})}}. \quad (14)$$

При силна връзка κ във всеки кръг се създават две трептения с честоти

$$f_1 = \frac{f_0}{\sqrt{1+\kappa}} \text{ и } f_2 = \frac{f_0}{\sqrt{1-\kappa}}, \quad (14a)$$

където f_0 е собствената честота на кръговете.

Задачи

16. Два индуктивно свързани кръга според рис 7, а имат $L_1 = 225 \text{ мкхн}$ и $L_2 = 900 \text{ мкхн}$; коефициентът на взаимноиндукция между двете бобини L_1 и L_2 е $M = 45 \text{ мкхн}$. Да се определи коефициентът на свързката κ .

Решение. Съгласно формула 12 коефициентът

$$\kappa = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = \frac{45}{\sqrt{225 \cdot 900}} = 0,1.$$

17. Два свързани кръга според рис. 7, б и 7, в имат капацитети $C_1 = C_2 = 100 \text{ пф}$. Да се определи коефициентът κ при капацитет за свързка $C_{12} = 10 \text{ пф}$.

Решение. За свързаните кръгове според схемата на рис. 7, б коефициентът κ съгласно формула 13 е

$$\kappa = \sqrt{\frac{100 \cdot 100}{(100 + 10)(100 + 10)}} = 0,9.$$

Коефициентът на свързка κ при схемата на рис. 7, в съгласно формула 14 е

$$\kappa = \frac{10}{\sqrt{(100 + 10)(100 + 10)}} = 0,09.$$

18. Как ще се измени коефициентът на свързка κ при кръговете от задача 17, ако капацитетът за свързка C_{12} се намали два пъти, а именно $C_{12} = 5 \text{ пф}$.

Решение. Съгласно формула 13 при намаляване на C_{12} коефициентът κ ще порасне, а съгласно формула 14 същият коефициент ще се намали.

При схемата на рис. 7, б коефициентът $\kappa = \sqrt{\frac{100 \cdot 100}{105 \cdot 105}} = 0,95.$

При схемата на рис. 7, в $\kappa = \frac{5}{\sqrt{105 \cdot 105}} = 0,05.$

Увеличаването степента на свързката в първия случай, се обяснява с подаване на по-голяма част от напрежението на единия кръг в другия, а отслабването ѝ във втория случай се обяснява с намаляването на тока, преминаващ от единия в другия кръг.

19. Какви честоти f_1 и f_2 се получават в резултат на свързването на два кръга със собствената честота $f_0 = 1\,000\,000 \text{ хц}$ и каква е честотата на електрическото биене, ако $\kappa = 0,1$.

Решение. Съгласно формули 14

$$f_1 = \frac{1\,000\,000}{\sqrt{1+0,1}} = 952\,400 \text{ хц}; f_2 = \frac{1\,000\,000}{\sqrt{1-0,1}} = 1\,052\,800 \text{ хц}.$$

Честотата на биенето $f_6 = f_2 - f_1 = 1\,052\,800 - 952\,400 = 100\,400 \text{ хц}$.

20. Колко голяма е индуктивността L_2 на втория свързан кръг от рис. 7, а, ако $L_1 = 200 \text{ мкхн}$, $k = 0,02$ и $M = 4 \text{ мкхн}$?

3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЕН ТРЕПТЯЩ КРЪГ

Трептящият кръг на рис. 8, а е включен последователно към променливотоковия генератор, който има е. д. с. E . За генератора кръгът представлява комплексно съпротивление.

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}, \quad (15)$$

което при резонанс става равно на активното съпротивление

$$Z_{\text{рез}} = R. \quad (16)$$

Горните зависимости са изразени графически на рис. 8, б.

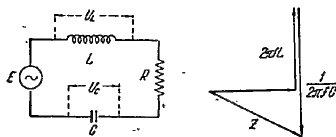


Рис. 8

Токът, протичащ през кръга, е същевременно и генераторен ток и се определя със закона на Ом:

$$I = \frac{E}{Z} \text{ и } I_{\text{рез}} = \frac{E}{R}. \quad (17)$$

Двете величини — импедансът Z и токът I , са честотно зависими величини; това се вижда и от резонансните криви на рис. 9, а.

* Вътрешното съпротивление на генератора е 0.

Резонансната честота се равнява на собствената честота на кръга и се изчислява с формула 1. При резонанс в крайщата на бобината и в крайщата на кондензатора се създава

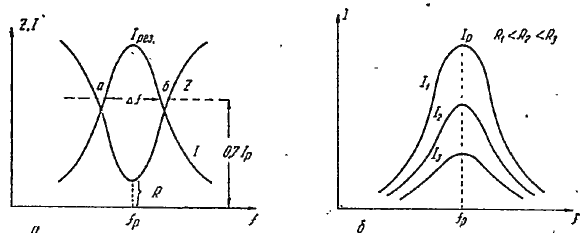


Рис. 9

свръхнапряжение $U_L = U_C$, което е Q пъти по-голямо от генераторното напрежение

$$U_L = U_C = QE. \quad (18)$$

Формата на резонансната крива зависи от R ; с увеличаване на R кривата става по-тъпа (рис. 9, б). От резонансната крива

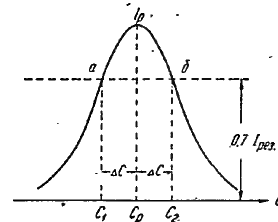


Рис. 10

може да се определи широчината на пропусканата честотна лента — определя се от пресечните точки a и b на резонансната крива с хоризонталната права, прокарана на ниво 70% от стойността на максималния (резонансния) ток (рис. 10).

Същата честотна пропускателност може да се определи и с формулата

$$\Delta f = \frac{f_{res}}{Q} = \frac{\text{резонансната честота}}{\text{коэффициента на добротворчество}} \quad (19)$$

От резонансната крива на кръга може да се определи и Q -факторът, ако по абсцисната ос на рис. 10 са нанесени стойностите на капацитета C , с който кондензаторът се настройва:

$$Q = 2 \frac{C_{res}}{C_2 - C_1} = \frac{C_{res}}{\Delta C} \quad (20)$$

В последната формула C_{res} е стойността на капацитета, при която се получава резонанс в кръга, ΔC е увеличаването или намаляването на капацитета до получаване в кръга ток, който представлява 70% $= 0,7$ от резонансния ток I_{res} .

Задачи

21. Кръгът от задача 1 ($L = 225$ мкхн, $C = 400$ пф и $R = 10$ ома) е свързан последователно към генератор с е. д. с. $E = 1$ в и нищожно вътрешно съпротивление $R_i \approx 0$. Колко голям е импедансът на кръга Z и какъв ток протича през него, ако честотата на генератора $f = 500$ кхц $= 500\,000$ хц? Каква е стойността на резонансния ток и големината на свръхнапрежението U_L ?

Решение. Според задача 1 индуктивността $L = 225$ мкхн, капацитетът $C = 400$ пф и $R = 10$ ома. Импедансът Z за $f = 500$ кхц съгласно формула 15 е

$$Z = \sqrt{10^2 + \left(6,28 \cdot 500\,000 \cdot 0,000225 - \frac{1}{6,28 \cdot 500\,000 \cdot 0,0000004}\right)^2} = \sqrt{10^2 + (708 - 795)^2} = \sqrt{100 + 87^2} = 87,6 \text{ ома.}$$

Токът I съгласно формула 17 е

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{1}{87,6} = 0,011 \text{ а} = 11 \text{ ма.}$$

Стойността на резонансния ток според формула 17 е

$$I_{res} = \frac{E}{R} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ а} = 100 \text{ ма.}$$

В задача 1 се изчисли коефициентът на добротворчество $Q = 74,8$ (виж стр. 7). Следователно свръхнапрежението ще бъде

$$U_L = Q \cdot E = 74,8 \cdot 1 = 74,8 \text{ в.}$$

22. Каква честотна лента пропуска последователният кръг от задача 21 и как ще се измени тя, ако активното съпротивление се намали на 5 ома?

Решение. Съгласно формула 19

$$\Delta f = \frac{f_p}{Q} = \frac{530\,000}{74,8} = 70,80 \text{ хц} \approx 7 \text{ кхц.}$$

Понеже при намаляване на R два пъти Q -факторът съгласно формула 6 се увеличава два пъти, $Q' = 74,8 \cdot 2 = 149,6$, широчината на честотната пропускателност се намалява също два пъти:

$$\Delta f' = \frac{f_p}{Q'} = \frac{530\,000}{149,6} = 3540 \text{ хц} = 3,54 \text{ кхц.}$$

23. Антената на един радиоприемник е свързана индуктивно с входния трептящ кръг съгласно рис. 11, а. Кръгът е на-

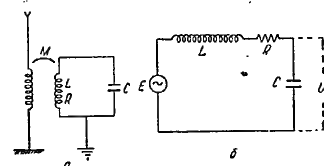


Рис. 11

строен на предавателя „Христо Ботев“ с честота $f = 827$ кхц. Според задача 9-та индуктивността на кръга е $L = 122$ мкхн. Какво напрежение се получава между ротора и статора на въртящия се кондензатор C , ако активното (загубно) съпротивление на кръга е $R = 6$ ома и ако антената индуктира в бобината електродвижеща сила $E = 10$ мкв $= 0,00001$ в?

Решение. Входният кръг на радиоприемника с индуктивната е. д. с. е равностоеен на последователния трептящ кръг на рис. 11, б. Понеже кръгът е настроен в резонанс с предавателя, между ротора и статора на кондензатора му се създава свръхнапрежение $U_c = QE$.

Качественият фактор на кръга е

$$Q = \frac{2\pi fL}{R} = \frac{6,28 \cdot 827\,000 \cdot 0,000122}{6} = \frac{634}{6} = 105,6.$$

Следователно в кръга ще се създаде свръхнапрежение $U_c = Q \cdot E = 105,6 : 10 = 1056$ мкв (микроволта) $\approx 1,056$ мв (милливолта).

24. Трептящият кръг от задачи 21 и 22 се включва към генератор с много голямо активно вътрешно съпротивление, напр. $R_i = 1000$ ома. Ще се получи ли свръхнапрежение в кръга и какво ще бъде очертанието на резонансната крива?

Отговор. Вътрешното съпротивление на генератора се явява последователно включено към активното съпротивление на кръга R ; следователно общото активно съпротивление на цялата електрическа верига ще се равнява на сбора $R + R_i = 10 + 1000 = 1010$ ома (или $5 + 1000 = 1005$ ома за кръга от задача 22). При такова голямо активно съпротивление Q -факторът е по-малък от 1. При $f = 530\,000$ хц и $L = 225$ мкхн $Q = \frac{6,28 \cdot 530\,000 \cdot 0,000225}{1010} = 0,7$. Става ясно, че напрежението в бобината (а също и в кондензатора) ще бъде по-малко от електродвижещата сила на генератора:

$$U_L = U_C = QE = 0,7 \cdot 1 = 0,7 \text{ в},$$

поради което в този случай не може да се получи свръхнапрежение. Поради много голямото активно съпротивление на веригата резонансните криви на Z и I няма да имат очертанието, посочено на рис. 9 и 10, а ще бъдат силно затъпени.

25. Как трябва да се измери свръхнапрежението $V_L = 74,8$ в, което се получава в бобината L на рис. 8а?

Отговор. С лампов вълтмер, който има извънредно голямо вътрешно съпротивление и е включен паралелно на бобината L .

26. Високочестотен генератор с $R_i = 0$ и $E = 5$ в създава през настроен в резонанс последователен трептящ кръг ток $I_p = 0,5$ ампера. Колко голямо е активното съпротивление R на кръга?

27. С лампов вълтмер е измерено свръхнапрежение в кръговия кондензатор $U_c = 100$ в, а в полюсите на генератора — напрежението $E = 2$ в. Активното съпротивление на кръга е $R = 15$ ома, а капацитетът $C = 300$ пф. Каква е честотата f на генератора и колко голяма е индуктивността L на кръга?

28. Честотната пропускателност на един трептящ кръг е $\Delta f = 10$ кхи, резонансната честота $f = 1000$ кхи, а индуктивността $L = 200$ мкхн. Колко големи са R и C на кръга?

4. ПАРАЛЕЛЕН ТРЕПТЯЩ КРЪГ

Паралелният трептящ кръг на рис. 12а има резонансни криви на импеданса Z и на генераторния ток $I_{ген}$ (рис. 12, б), точно обратни по очертание на същите криви на последовател-

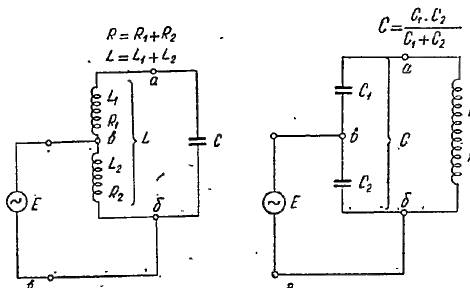
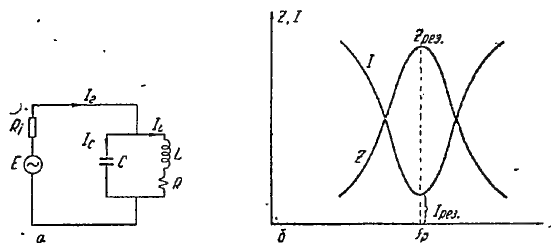


Рис. 12

ния трептящ кръг на рис. 9а. При резонанс импедансът на паралелния кръг е най-голям и има стойност $Z_p = \frac{L}{RC}$, а генераторният (външният) ток за резонансната честота е най-малък

$$I_{рез} = \frac{E}{R_i + Z_p} \quad (21)$$

Кръговият ток (трептящият ток вътре в кръга) е Q пъти по-голям от генераторния:

$$I_{кр} = I_{гр} = Q I_{рез}. \quad (22)$$

Когато вътрешното съпротивление на генератора е многократно по-голямо от резонансния импеданс $Z_p = \frac{L}{RC}$ на кръга, резонансната крива на тока има едва забележим минимум

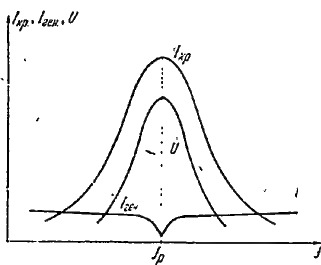


Рис. 13

(рис. 13); резонансната крива на полюсното напрежение, напротив има ясно изразен максимум (рис. 13); подобно е и очертанието на резонансната крива на кръговия ток $I_{кр}$. Високофреkwентни генератори с голямо вътрешно съпротивление са радиолампите, особено пентодите в режим на усилване.

Резонансния импеданс Z_p е Q пъти по-голям от индуктивното съпротивление на бобината (или капацитивното съпротивление на кондензатора) и Q^2 пъти по-голям от активното съпротивление на кръга:

$$Z_p = Q \cdot X_L = Q 2 \pi f L; \quad (23)$$

$$Z_p = Q^2 R. \quad (23a)$$

Широчината на пропусканата честотна лента се определя с формулата

$$\Delta f = \frac{f_p}{Q} \left(1 + \frac{Z_p}{R_i} \right). \quad (24)$$

Освен дадения на рис. 12, а паралелен трептящ кръг в радиопредавателната и радиоприемна техника се употребяват схеми на паралелни трептящи кръгове, при които един от клоните има два реактивни елемента L и C : кръгът от рис. 12, в има две индуктивности L_1 и L_2 , последователно включени помежду си, а кръгът на рис. 12, г е с два кондензатора C_1 и C_2 , също последователно свързани помежду си. Собствената честота на кръга (резонансна за генератора) на рис. 12, в се определя с формулата

$$f_p = \frac{1}{2 \pi \sqrt{(L_1 + L_2) C}}. \quad (25)$$

а същата честота на кръга на рис. 12, г — с формулата

$$f_p = \frac{1}{\pi \sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}. \quad (25a)$$

Резонансния импеданс на кръга на рис. 12, в се изчислява с формулата

$$Z_p = \frac{L_1 + L_2}{(R_1 + R_2) C} \left(\frac{L_2}{L_1 + L_2} \right)^2 = \frac{L}{RC} \left(\frac{L_2}{L} \right)^2, \quad (25б)$$

където $L = L_1 + L_2$ и $R = R_1 + R_2$.

Същият импеданс на кръга на рис. 12, г се определя с формулата

$$Z_p = \frac{L}{RC} \left(\frac{C}{C_2} \right)^2, \quad (25в)$$

където $C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$.

От последните две формули се вижда, че кръговете на рис. 12, в и 12, г, свързани с генератора през точките б и в, имат по-малък резонансен импеданс в сравнение с кръга на рис. 12, а, свързан с генератора през точките а и б.

Задачи

29. Трептящият кръг от задача 21 с елементи $L = 225 \text{ мкхн}$, $C = 400 \text{ пф}$ и $R = 10 \text{ ома}$ е включен паралелно към генератор с електродвижеща сила $E = 100 \text{ в}$ и вътрешно съпротивление $R_i = 43750 \text{ ома}$. Да се определи: а) резонансния импеданс; б) генераторният ток при резонанс $I_{гр}$; в) кръговият резонансен ток $I_{кр}$; г) полюсното напрежение U при резонанс (Q -факторът е 74,8).

Решение.

$$a) \text{ Резонансният импеданс } Z_p = \frac{L}{R \cdot C} = \frac{0,000225}{10 \cdot 0,0000000004} = 56\,250 \text{ ома.}$$

б) Генераторният ток съгласно формула 21 е

$$I_{\text{рез}} = \frac{E}{R_L + Z_p} = \frac{100}{43\,750 + 56\,250} = 0,001 \text{ а} = 1 \text{ ма.}$$

в) Кръговият резонансен ток съгласно формула 22 е

$$I_{\text{кр,р}} = Q \cdot I_{\text{рез}} = 74,8 \cdot 1 = 74,8 \text{ ма.}$$

г) Полусното напрежение на генератора е

$$U = E - I_{\text{рез}} R_L = 100 - 0,001 \cdot 43\,750 = 100 - 43,75 = 56,25 \text{ в.}$$

30. Колко пъти индуктивното съпротивление на бобината е по-голямо от активното R и колко пъти същото индуктивно съпротивление е по-малко от резонансния импеданс на кръга от задача 29?

Решение. От формула 6 следва, че

$$X_L = 2\pi fL = Q \cdot R = 74,8 \cdot 10 = 748 \text{ ома.}$$

Същият резултат се получава и ако си послужим с формулата

$$X_L = 2\pi fL = 6,28 \cdot 530\,000 \cdot 0,000225 = 748 \text{ ома.}$$

Съгласно формула 23 индуктивното съпротивление X_L е Q пъти по-малко от резонансния импеданс:

$$X_L = 2\pi fL = \frac{Z_p}{Q} = \frac{56\,250}{74,8} = 748 \text{ ома.}$$

31. Кръговият ток в един настроен паралелен трептящ кръг е $I_{\text{кр}} = 100 \text{ ма}$. Честотата на генератора е $f = 1\,000\,000 \text{ хц}$, а индуктивността на кръга е $L = 100 \text{ мкхн}$. Колко голямо е напрежението в двата края на кръга и колко волта е полусното напрежение на генератора?

Решение. Напрежението в двата края на кръга се равнява на произведението от индуктивното съпротивление на бобината X_L и кръговия ток $I_{\text{кр}}$:

$$U_{\text{кр}} = X_L \cdot I_{\text{кр}} = 2\pi fL \cdot I_{\text{кр}} = 6,28 \cdot 1\,000\,000 \cdot 0,0001 \cdot 100 = 62,8 \text{ в.}$$

Полусното напрежение на генератора е равно на напрежението в кръга $U = U_{\text{кр}} = 62,8 \text{ в.}$

32. С високочестотен милиампермер е измерен кръгов ток в настроен паралелен трептящ кръг $I_{\text{кр}} = 50 \text{ ма} = 0,05 \text{ а}$, а във външната (генераторната) верига ток $I_z = 0,5 \text{ ма} = 0,0005 \text{ а}$. Честотата на генератора е равна на честотата на националния предавател „Христо Ботев“ $f = 827 \text{ кхц}$. Кръговата бобина има посочената в задача 9 индуктивност $L = 122 \text{ мкхн}$. Колко голямо е активното съпротивление на кръга?

Решение. Съгласно формула 22 кръговият резонансен ток $I_{\text{кр}}$ е Q пъти по-голям от генераторния резонансен ток I_z . Следователно

$$Q = \frac{I_{\text{кр}}}{I_z} = \frac{50}{0,5} = 100.$$

Активното съпротивление R ще се определи с формула 6

$$R = \frac{2\pi fL}{Q} = \frac{6,28 \cdot 827\,000 \cdot 0,000122}{100} = 6,33 \text{ ома.}$$

33. Построеният от радиолюбителя според задача 10 трептящ кръг ($L = 10 \text{ мкхн}$, $C = 51,8 \text{ пф}$), е включен паралелно към високоомна лампа (пентод), която представлява променливотоков генератор с полусно напрежение $U = 100 \text{ в}$. Бобината на кръга има активно съпротивление $R = 5 \text{ ома}$. Какъв ток е измерил радиолюбителят във външния кръг и вътре в кръга?

Решение. Вън от кръга тече генераторният ток $I_z = \frac{U}{Z_p}$.

$$Z_p = \frac{L}{RC} = \frac{0,0001}{5 \cdot 0,000000000518} = 39\,370 \text{ ома.}$$

$$I_z = \frac{100}{39\,370} = 0,0025 \text{ а} = 2,5 \text{ ма.}$$

Кръговият ток $I_{\text{кр}} = Q \cdot I_z$.

Качественият фактор може да се изрази чрез преобразяването на формула 6:

$$Q = \frac{2\pi fL}{R} = \frac{2\pi}{R} \cdot \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \cdot L = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{5} \sqrt{\frac{0,0001}{0,000000000518}} = 87,7.$$

Следователно $I_{\text{кр}} = I_z \cdot Q = 2,5 \cdot 87,7 = 219,25 \text{ ма}$.

34. Как радиолюбителят може да констатира високочестотния кръгов ток $I_{\text{кр}} = 87,7 \text{ ма}$ и високочестотното напрежение $U = 100 \text{ в}$ от задача 33?

Отговор. Наличността на $I_{\text{кр}}$ се проверява с малка лампичка (крушка), включена вътре в кръга, а наличността на

кръговото променливо напрежение U се констатира чрез паралелно включване на неонтова индикаторна лампичка (рис. 14). Точното измерване на напрежението U се извършва чрез паралелно включване към кръга на лампов волтмер, а токът $I_{кр}$ се измерва чрез последователно включване вътре в кръга височестотен милиампермер (антенен ампермер).

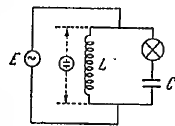


Рис. 14

35. Какъв резултат ще се получи, ако неоновата лампичка и електрическата крушка на рис. 14 разменят местата си?

36. Третьяк кръг с $L=10$ мхн, $C=4$ мкф и $R=50$ ома е включен паралелно към генератор с $E=20$ в и $R_i=50$ кома. За коя честота на генератора кръгът ще бъде в резонанс и колко големи са Z_p , I_2 и $I_{кр}$?

37. Третьяк кръг от задача 29 ($L=225$ мхн, $C=400$ нф и $R=10$ ома) се преобразува в паралелен третьяк кръг според схемата на рис. 12, в: индуктивността му $L=225$ мхн се разделя между двата клона на кръга, а именно $L_1=75$ мхн и $L_2=150$ мхн. Да се определи собствената честота на преобразувания кръг и резонансния му импеданс.

Решение. Понеже $L_1+L_2=75+150=225$ мхн $=L$, съгласно формула 25 собствената честота на кръга не се променя.

Резонансния импеданс съгласно формула 25, б, като се има предвид стойността на израза $\frac{L}{RC}$ от задача 29, а именно $\frac{L}{RC}=56\,250$ ома, е

$$Z_p = \frac{L}{RC} \left(\frac{L_2}{L} \right)^2 = 56\,250 \cdot \frac{150^2}{225^2} = 25\,000 \text{ ома.}$$

Полученият резултат показва, че когато кръгът се включи към генератора през точките б и в, резонансния му импеданс се намалява значително (ако включването стане през точките а и б, импедансът има по-голяма стойност: 56 500 ома).

38. Паралелният третьяк кръг от задача 29 се преобразува според схемата на рис. 12 г, като вместо единственият кондензатор с капацитет $C=400$ нф се включват два отделни кондензатора с капацитети C_1 и C_2 . Да се определят капацитетите C_1 и C_2 , при условие че резонансния импеданс на преобразувания кръг е равен на същия импеданс на кръга от задача 37.

Решение. Съгласно условието на задачата импедансът, изчислен с формула 25 б, трябва да бъде равен на импеданса, изчислен с формула 25 а:

$$\frac{L}{RC} \left(\frac{L_2}{L} \right)^2 = \frac{L}{RC} \left(\frac{C}{C_2} \right)^2.$$

От последното равенство следва, че

$$\frac{C}{C_2} = \frac{L_2}{L} = \frac{150}{225} = \frac{2}{3},$$

откъдето $C_2 = \frac{3}{2} C = \frac{3 \cdot 400}{2} = 600$ нф.

Стойността на C_1 се определя с помощта на формулата $C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$, а именно $C_1 = \frac{C \cdot C_2}{C_2 - C} = \frac{400 \cdot 600}{600 - 400} = 1200$ нф.

5. ПРИНУДЕНО ТРЕПЕНИЕ НА СВЪРЗАНИТЕ КРЪГОВЕ

Двата индуктивно свързани кръга на рис. 15 извършват принудено трепение под влияние на променливотоковия генератор с е. д. с. E . Влиянието на втория кръг върху първия се изразява в намаляване на тока I_1 в първия кръг съгласно формулата

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1 + \Delta R} = \frac{E_1}{R_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2}}. \quad (26)$$

В последната формула $\Delta R = \frac{\omega^2 M^2}{R_2}$ е внесеното от втория в първия кръг активно съпротивление, което се получава, когато и двата кръга са настроени в резонанс с генератора.

Токът I_1 индуктира в бобината L_2 на втория кръг е. д. с. $E_2 = I_1 \omega M$, която от своя страна прокарва ток I_2 във втория кръг

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2} = \frac{I_1 \omega M}{R_2}. \quad (27)$$

Най-силен ток I_2 във втория кръг се получава при критична връзка, определена с формулата

$$K_{кр} = d = \frac{1}{Q} = \frac{R}{\omega L} = \frac{R}{2\pi f L}. \quad (28)$$

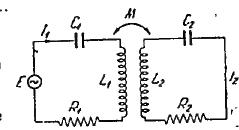


Рис. 15

Изменението на I_1 и I_2 в зависимост от степента на връзката κ е показано графично на рис. 16. Коефициентът на свързката κ се изчислява с формула 12 (или 13 и 14 при капацитивна връзка между кръговете).

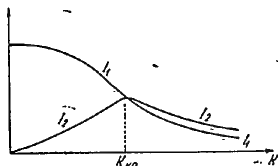


Рис. 16

При постоянна връзка между кръговете, по-силна от критичната, и при постепенното изменение на честотата на генератора

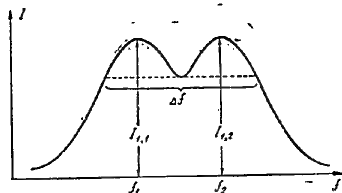


Рис. 17

ратора токът във всеки кръг се изменя по резонансната крива на рис. 17. Максималните токове $I_{1,1}$ и $I_{1,2}$ в първия кръг се изчисляват с формулата

$$I_{1,1} = I_{1,2} = \frac{E_1}{R_1 + R_2 \left(\frac{L_1}{L_2} \right)}, \quad (29)$$

а токовете $I_{2,1}$ и $I_{2,2}$ във втория кръг — с формулата

$$I_{2,1} = I_{2,2} = E \cdot \frac{\sqrt{\frac{L_1}{L_2}}}{R_1 + R_2 \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}}. \quad (30)$$

Честотите f_1 и f_2 , за които се получават резонансните върхове (рис. 17), се изчисляват с формули 14.

Максималната широчина на честотната лента, която се получава при $\kappa = 2,41 \kappa_{кр}$, се определя с формулата

$$\Delta f = 3,1 \frac{f_0}{Q}. \quad (31)$$

При критична връзка

$$\Delta f = 1,41 \frac{f_0}{Q}. \quad (31a)$$

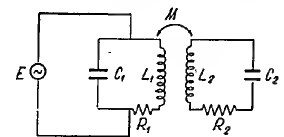


Рис. 18

Когато първият кръг е паралелно включен към генератора (рис. 18), под влияние на втория кръг импедансът на първия за честотите на резонансните върхове f_1 и f_2 се намалява съгласно формулата

$$Z_{P1} = Z_{P2} = \frac{L}{(R_1 + R_2) C}. \quad (32)$$

Напрежението, което се получава във втория кръг, при условие че и двата кръга имат еднакви Q -фактори, се определя с формулата

$$U_2 = U_1 \kappa Q \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}. \quad (33)$$

Задачи

39. Последователният трептящ кръг от задача 21 ($L=225 \text{ мкХн}$, $C=400 \text{ нф}$, $R=10 \text{ ома}$) е свързан индуктивно със също такъв втори трептящ кръг при коефициент $\kappa=0,1$. Да се определят: а) внесеното съпротивление ΔR ; б) токът I_1 в първия кръг; в) напрежението във втория кръг и г) токът I_2 в същия, при условие че и двата кръга са настроени в резонанс с генератора.

Решение, а) Внесеното съпротивление $\Delta R = \frac{\omega^2 M^2}{R_2}$.

Коефициентът на индуктивността се определя от формула 12:

$$M = \kappa \sqrt{L_1 \cdot L_2} = 0,1 \sqrt{225 \cdot 225} = 0,1 \cdot 225 = 22,5 \text{ мкХн}.$$

$$\text{Ъгловата честота } \omega = 2\pi f = 6,28 \cdot 530\,000 = 3\,328\,400 \frac{1}{\text{сек}}.$$

Следователно $\Delta R = \frac{\omega^2 M^2}{R_2} = \frac{3\,328\,400 \cdot 0,0000225^2}{10} = 550 \text{ ома}$.

б) Съгласно формула 26 токът I_1 в първия кръг е

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1 + \Delta R} = \frac{1}{10 + 550} = 0,0018 \text{ а} = 1,8 \text{ ма.}$$

Ако липсваше вторият кръг, токът I_1 щеше да бъде $\frac{1}{10} = 0,1 \text{ а} = 100 \text{ ма}$.

в) Токът I_1 индутира в обината L_2 на втория кръг е д. с.

$$E_2 = I_1 \omega M = 0,0018 \cdot 3\,328\,400 \cdot 0,0000225 = 0,135 \text{ в.}$$

г) Токът във втория кръг е $I_2 = \frac{E_2}{R_2} = \frac{0,135}{10} = 0,0135 \text{ а} = 13,5 \text{ ма}$.

Последният резултат показва, че токът във втория кръг е $\frac{13,5}{1,8} = 7,5$ пъти по-голям от тока I_1 в първия кръг. Такъв резултат е напълно закономерен при силна връзка между кръговете съгласно кривите на рис. 16. Следователно коефициентът $\kappa = 0,1$ означава силна връзка (по-голяма от критичната).

40. Да се определят величините ΔR , I_1 , E_2 и I_2 в свързаните кръгове от задача 39, ако връзката е критична.

Решение. Съгласно формула 28 критичната връзка

$$\kappa_{кр} = d = \frac{1}{Q} = \frac{1}{74,8} = 0,013 = 1,3\%.$$

Тази критична връзка се постига при коефициент на индуктивността

$$M_{кр} = \kappa_{кр} \sqrt{L_1 \cdot L_2} = 0,013 \cdot \sqrt{225 \cdot 225} = 2,93 \text{ мкхн.}$$

Внесеното съпротивление $\frac{(\omega M)^2}{R_2} = \frac{3\,328\,400 \cdot 0,00000293^2}{10} = 10 \text{ ома}$.

Токът в първия кръг $I_1 = \frac{E_1}{R_1 + \Delta R} = \frac{1}{10 + 10} = 0,05 \text{ а} = 50 \text{ ма}$.
Напрежението във втория кръг $E_2 = I_1 \omega M = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ в}$.

Токът във втория кръг $I_2 = \frac{E_2}{R_2} = \frac{0,5}{10} = 0,05 \text{ а} = 50 \text{ ма}$.

Получените резултати показват, че при критичната връзка токовете в двата кръга са равни (50 ма); това е поради факта, че внесеното съпротивление ΔR се равнява на активното съпротивление на кръговете: $\Delta R = R_1 = R_2 = 10 \text{ ома}$.

Ако се сравнят стойностите на тока I_2 от двете последни задачи, се вижда, че макар коефициентът $\kappa_{кр}$ да е много по-

малък от 0,1, при критична връзка токът I_2 , напротив, е по-голям от I_2 при $\kappa = 0,1$. Математичното изследване показва, че при $\kappa_{кр}$ токът I_2 достига максимум (рис. 16).

41. Да се определи широчината на пропусканата честотна лента: а) при критична връзка и б) при $\kappa = 2,41 \kappa_{кр}$ на свързаните кръгове от задача 39. Да се определят резонансните честоти f_1 и f_2 за $\kappa = 2,41 \kappa_{кр}$ и стойностите на двата тока I_1 и I_2 за тези честоти.

Решение. а). При критичната връзка $\kappa_{кр} = 0,013$ честотната лента $\Delta f = \frac{f_0}{Q} = 1,41 = 1,41 \frac{530}{74,8} = 9,98 \text{ кхц}$.

б) При $\kappa = 2,41 \kappa_{кр} = 2,41 \cdot 0,013 = 0,03 = 3\%$ се доказва, че

$$\Delta f = 3,1 \frac{f_0}{Q} = 3,1 \frac{530}{74,8} = 21,9 \text{ кхц.}$$

Съгласно формула 14 честотите $f_1 = \frac{530}{\sqrt{1+0,03}} = 520 \text{ кхц}$

и $f_2 = \frac{530}{\sqrt{1-0,03}} = 538 \text{ кхц}$.

Токовете $I_{1,1}$ и $I_{1,2}$ и токовете $I_{2,1}$ и $I_{2,2}$ (рис. 17) се определят с формулите 29 и 30. Понеже в дадения случай $L_1 = L_2 = 225 \text{ мкхн}$, и четирите тока имат една и съща стойност

$$I_{1,1} = I_{1,2} = I_{2,1} = I_{2,2} = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{1}{10 + 10} = 0,05 \text{ а} = 50 \text{ ма.}$$

42. Третият кръг от предшестващите задачи с $L = 225 \text{ мкхн}$, $C = 400 \text{ нф}$ и $R = 10 \text{ ома}$ е включен паралелно към генератора с данни, показани в задача 39. Същият кръг е свързан индуктивно с втори кръг според схемата на рис. 18, който има същите елементи L , C и R ; коефициентът $\kappa = 0,1$. Как ще се отрази наличността на втория свързан кръг върху първия?
Решение. Вторият кръг предизвиква намаляване на импеданса Z_p на първия кръг съгласно формула 32:

$$Z_p = Z_p = \frac{L}{(R_1 + R_2)C} = \frac{0,000225}{(10 + 10) \cdot 0,000000004} = 28\,125 \text{ ома.}$$

Вследствие намаляване на импеданса генераторният ток I_2 се усилява и вместо 1 ма (от задача 29) става

$$I_2 = \frac{E}{R_1 + Z_p} = \frac{100}{43\,750 + 28\,125} = 0,0014 \text{ а} = 1,4 \text{ ма.}$$

Напрежението U_1 на първия кръг =

$$= E_1 - I_2 \cdot R_1 = 100 - 0,0014 \cdot 43\,750 = 38,75 \text{ в.}$$

Напрежението във втория кръг се изчислява с формула 33:

$$U_2 = U_1 \cdot kQ \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} = 38,75 \cdot 0,1 \cdot 74,8 \sqrt{\frac{400}{400}} = 290 \text{ в.}$$

43. Как ще се измени токът I_1 от задача 39, ако във втория кръг стане прекъсване?

44. Колко голяма ще бъде критичната връзка при кръговете от задача 40, ако активните съпротивления на двата кръга се увеличат на 15 ома?

45. Променливотоков генератор с $E=10$ в захранва два свързани кръга според схемата на рис. 15. При липса на втория кръг през първия протича резонансен ток $I_1=1$ а, а при наличност на втория кръг същият ток се намалява на 0,5 а. Колко големи са активните съпротивления на двата кръга, ако честотата $f=530$ кхц, а коефициентът $M=2,93$ мкхн?

46. Паралелен трептящ кръг според схемата на рис. 18 се захранва от променливотоков генератор с $E=120$ в и $R_1=60$ кома; кръгът е настроен на честотата на генератора $f=478$ кхц и в него се влива генераторен ток $I_2=1$ ма=0,001 а. Кръговата индуктивност $L=200$ мкхн. След това се свързва втори кръг, който има същите елементи L , C и R . Под влияние на този кръг генераторният ток пораста от 1 ма на 1,33 ма. Да се изчислят активните съпротивления на кръговете, капацитетите им C и коефициентът на индуктивността M .

47. Два еднакви трептящи кръга с $L=200$ мкхн, $C=556$ нф и $R=6$ ома са свързани помежду си при коефициент на връзката $k=0,05$ и се захранват от генератор с $E=50$ в и $R_1=0$. Какви токове I_1 и I_2 ще протичат през двата кръга: първо, ако първият кръг е последователен (рис. 15) и второ, ако първият кръг е паралелен (рис. 18)?

Б. АНТЕНИ

1. ПРЕДАВАТЕЛНИ АНТЕНИ

Всяка незаземена антена, която се възбужда в средата си (рис. 19, а), трепти най-силно (антенният ток I_A е най-силен), когато честотата на възбуждащия генератор е равна на собствената честота на антената f_A . Тази честота се изчислява с формулата

$$f_A = \frac{c}{\lambda_A} = \frac{\text{скоростта на светлината}}{\text{дължината на собствената вълна}} = \frac{300\,000\,000}{\lambda_A} \quad (34)$$

Дължината на собствената вълна λ_A на антената се изчислява с формулата

$$\lambda_A = 2l, \text{ откъдето } l = \frac{\lambda_A}{2}. \quad (35)$$

Собствената честота f_A на заземената антена (рис. 19, б) се определя също с формула 34, а собствената ѝ вълна λ_A — с формулата

$$\lambda_A = 4l, \text{ откъдето } l = \frac{\lambda_A}{4}. \quad (36)$$

Антената е настроена, когато излъчва вълна λ_A , чиято дължина е определена с формулите 35 и 36. Такава антена предста-

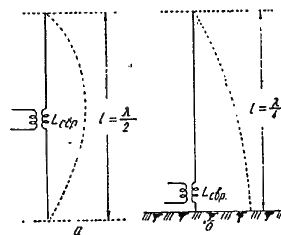


Рис. 19

влява за високочестотния ток активно съпротивление R_A (излъчва-телно съпротивление), което се определя с формулата

$$R_A = 1580 \left(\frac{H_{eff}}{\lambda} \right)^2 \left[1 - 1,32 \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2 \right]. \quad (37)$$

В последната формула H_{eff} е ефективната височина на антената, която се равнява на 63 % от геометричната дължина на същата: $H_{eff} = 0,63 l$. Формула 37 се използва и когато антената има дължина l от порядъка на $\frac{\lambda}{4}$.

Когато незаземената антена е по-къса от $\frac{\lambda}{2}$, а заземената — по-къса от $\frac{\lambda}{4}$, за да се настрои в резонанс с високочестотния генератор, е необходимо същата да се удължи изкуствено: или чрез последователно включена бобина $L_{уд}$ (рис. 20, а), или чрез върхов капацитет (рис. 20, б).

Когато незаземената антена е по-дълга от $\frac{\lambda}{2}$, а заземената — по-дълга от $\frac{\lambda}{4}$, за да се настрои същата в резонанс, е необходимо да се скъси с последователно включен скъсяващ кондензатор $C_{ск}$ (рис. 20, в).

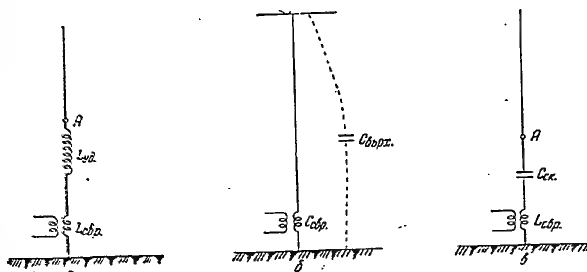


Рис. 20

Съпротивлението Z_A , което една ненастроена антена (неудължена и нескъсена изкуствено) оказва срещу височестотния ток I_A , има комплексен характер — състои се от активна съставна R_A и от реактивна съставна X_A и се определя с формулата

$$Z_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2}. \quad (38)$$

Активната съставна (съпротивлението на излъчване) на много късите антени $l \leq \frac{\lambda}{10}$ се изчислява с формулата

$$R_A = 10 \left(\frac{2\pi}{\lambda} l \right)^2, \quad (38a)$$

а активната съставна на средно дългите антени ($l = \frac{1}{10} \lambda \div \frac{1}{15} \lambda$) — с формулата

$$R_A = 1580 \left(\frac{H_{сдп}}{\lambda} \right)^2. \quad (38б)$$

Реактивната съставна X_A на същите ненастроени антени се определя с формулата

$$X_A = -500 \cotg \left(\frac{2\pi}{\lambda} \frac{l}{2} \right), \quad (39)$$

ако са незаземени, или с формулата

$$X_A = -500 \cotg \left(\frac{2\pi}{\lambda} l \right), \quad (39a)$$

ако са заземени.

От последните формули се вижда, че както активната, така и реактивната съставна на антенното съпротивление зависят от отношението $\frac{l}{\lambda}$. Тази зависимост за заземената антена е изобразена графически на рис. 21.

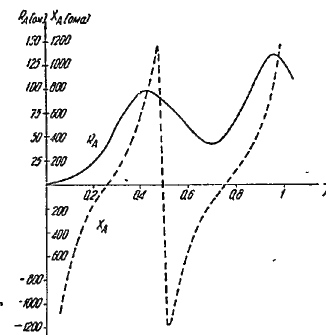


Рис. 21

Антенният ток I_A се определя със закона на Ом:

$$I_A = \frac{E}{Z_A}. \quad (40)$$

За да бъде този ток максимален, необходимо е реактивната съставна X_A да стане 0. Тази именно задача изпълняват настройващите елементи $L_{сдп}$ и $C_{ск}$ на рис. 20 — реактивното съпротивление на тези елементи трябва да бъде равно по големина на X_A на антената и с противоположен знак.

Всяка антена може да излъчва и хармонични вълни, ако ѝ се подадат от предавателя. Дължината на тези вълни за вертикалната заземена антена се определя с формулата

$$\lambda = \frac{4l}{2m+1}, \quad (41)$$

а за незаземената антена (дипола) — с формулата

$$\lambda = \frac{2l}{m+1}. \quad (42)$$

В последните формули m е цяло и положително число: 0, 1, 2, 3...

Мощността P_A , която се излъчва от антената във вид на електромагнитна вълна, се равнява на произведението от квадрата на антенния ток и активната съставна на антенното входно съпротивление:

$$P_A = I_A^2 \cdot R_A. \quad (43)$$

Задачи

48. Любителски радиопредавател трябва да излъчва вълна $\lambda = 42$ м. Колко дълъг проводник трябва да бъде употребен за антена, първо, ако антената е незаземена и, второ, ако същата е вертикална и заземена (рис. 19)? С каква честота трепти антената, ако тя е настроена?

Решение. Съгласно формула 35 за незаземената антена е необходим проводник, дълъг $l = \frac{\lambda}{2} = \frac{42}{2} = 21$ м. Ако тя се заземи, проводникът трябва да се скъси: $l = \frac{\lambda}{4} = \frac{42}{4} = 10,5$ м.

Честотата, с която трепти антената, се определя с формула 34:

$$f_A = \frac{c}{\lambda} = \frac{300\,000\,000}{42} = 7\,143\,000 \text{ хц} = 7143 \text{ кхц.}$$

49. Какъв ток I_A протича в основанието на заземената антена от задача 48 и колко голяма е излъчената антенна мощност, ако височестотният генератор индуктира в бобината за свързка (виж рис. 19, б) електродвижеща сила $E = 6$ в?

Решение. Входното съпротивление на настроената антена се състои само от активна съставна R_A (при пренебрегване на загубните съпротивления), която за $l = \frac{\lambda}{4}$ се определя с формула 37:

$$R_A = 1580 \left(\frac{H_{ef}}{\lambda} \right)^2 \left[1 - 1,32 \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2 \right] = 1580 \left(\frac{0,63 \cdot 10}{42} \right)^2 \left[1 - 1,32 \left(\frac{10}{42} \right)^2 \right] = 33 \text{ ома.}$$

Съгласно закона на Ом през антената (в основанието ѝ) протича ток

$$I_A = \frac{E}{R_A} = \frac{6}{33} = 0,166 \text{ а} = 166 \text{ ма.}$$

Излъчената мощност се определя с формула 43:

$$P_A = I_A^2 \cdot R_A = 0,166^2 \cdot 33 = 1 \text{ вт.}$$

50. За предавателя от предшестващите две задачи, излъчваща вълна $\lambda = 42$ м, се устройва по-къса антена — с дължина $l = 7,5$ м. Да се изчисли индуктивността на удължителната бобина съгласно рис. 20, а, а също и антенният ток при настроена (изкуствено неудължена) антена.

Решение. По-късата антена с $l = 7,5$ м не е настроена в резонанс с височестотния генератор; затова за него тя представлява комплексно съпротивление $Z_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2}$ (виж формула 38а). Активното съпротивление R_A се определя с формула 38б, защото $\frac{l}{\lambda} = \frac{7,5}{42} = 0,18$ се намира между $\frac{\lambda}{10}$ и $\frac{\lambda}{5}$:

$$R_{изл} = R_A = 1580 \left(\frac{H_{ef}}{\lambda} \right)^2 = 1580 \left(\frac{0,5 \cdot 7,5}{42} \right)^2 = 12 \text{ ома.}$$

За ефективна височина на антената се взема не 63%, а половината от геометричната ѝ дължина: $H_{ef} = 0,5 \cdot 7,5$ м, защото част от магнитното поле на антената е съсредоточено в удължителната бобина $L_{уд}$, поради което то не може да се излъчва.

Реактивната съставна на входното антенно съпротивление X_A се определя с формула 39а:

$$X_A = -500 \cot \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot l \right) = -500 \cot \left(\frac{6,28 \cdot 7,5}{42} \right) = -236 \text{ ома.}$$

В тази задача е пренебрегнато загубното съпротивление на антената и съпротивлението на заземяване.

Отрицателното реактивно съпротивление означава, че то има капацитивен характер. Същата стойност $X_A = -236$ ома се установява и с помощта на кривата за X_A на рис. 21.

Комплексното съпротивление (импедансът) на ненастроената антена е

$$Z_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2} = \sqrt{12 + 23,6^2} \approx 236 \text{ ома.}$$

Антенният ток на ненастроената антена е

$$I_A = \frac{E}{Z_A} = \frac{6}{236} = 0,025 \text{ а} = 25 \text{ ма.}$$

Антената трябва да се удължи изкуствено с бобина, чието индуктивно съпротивление X_L да се равнява на капацитивното X_A на антенния входен импеданс:

$$X_L = 2\pi f L_{уд} = 6,28 \cdot 7 \cdot 143 \cdot 000 L_{уд} = 236.$$

От последното уравнение намираме индуктивността на удължителната бобина

$$L_{уд} = \frac{236}{6,28 \cdot 7 \cdot 143 \cdot 000} = 0,0000052 \text{ хн} = 5,2 \text{ мкхн.}$$

След включване на удължителната бобина $L_{уд} = 210 \text{ мкхн}$ антената се настройва — антенният ток става максимален; неговата стойност зависи от общото активно съпротивление на антенната верига, състоящо се от излъчвателното съпротивление $R_{изл}$, омическото съпротивление на бобината за настройка и на бобината за свързка (ако тя е отделна от бобината за настройка), от омическото съпротивление на антената и от съпротивлението на заземяването.

51. Колко голям е антенният ток I_A на изкуствено удължената антена от задача 50, ако загубното съпротивление на антенния проводник, на бобината за свързка и за настройка и съпротивлението на заземяване е $R_{заг} = 13,7 \text{ ома}$. Каква мощност излъчва антената?

Решение. Общото активно съпротивление R_A на настроената антена

$$R_A = R_{изл} + R_{заг} = 12 + 13,7 = 25,7 \text{ ома.}$$

Антенният ток $I_A = \frac{E}{R_A} = \frac{6}{25,7} = 0,233 \text{ а} = 233 \text{ ма}$. Излъчената мощност $P_A = I_A^2 \cdot R_{изл} = 0,233^2 \cdot 12 = 0,648 \text{ вт}$.

52. С вертикална заземена антена според рис. 20, а трябва да се излъчва обхват от вълни при $\lambda_{мин} = 60 \text{ м}$ и $\lambda_{макс} = 80 \text{ м}$. Дължината на антената е $l = 5 \text{ м}$. Да се определи минималната и максималната индуктивност на вариометъра за настройка (рис. 22).

Решение. За най-късата вълна $\lambda_{мин} = 60 \text{ м}$ реактивното съпротивление на антената съгласно формула 39а е

$$X_A = -500 \cotg\left(\frac{2\pi}{\lambda_{мин}} \cdot l\right) = -500 \cotg\left(\frac{6,28}{60} \cdot 5\right) = -865 \text{ ома,}$$

а за най-дългата вълна $\lambda_{макс} = 80 \text{ м}$

$$X_A = -500 \cotg\left(\frac{2\pi}{\lambda_{макс}} \cdot l\right) = -500 \cotg\left(\frac{6,28}{80} \cdot 5\right) = -1200 \text{ ома.}$$

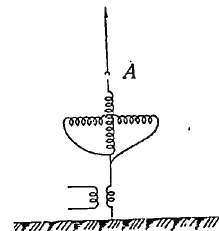


Рис. 22

На най-късата вълна съответствува

$$f_{макс} = \frac{300 \cdot 000 \cdot 000}{60} = 5 \cdot 000 \cdot 000 \text{ хц.}$$

За настройване на антената на тази честота е необходима минимална индуктивност

$$L_{мин} = \frac{-X_A}{2\pi f_{макс}} = \frac{865}{6,28 \cdot 5 \cdot 000 \cdot 000} = 0,000029 \text{ хн} = 29 \text{ мкхн.}$$

На най-дългата вълна съответствува

$$f_{мин} = \frac{300 \cdot 000 \cdot 000}{80} = 3 \cdot 750 \cdot 000 \text{ хц.}$$

На тази честота съответствува максимална индуктивност

$$L_{макс} = \frac{X_A}{2\pi f_{мин}} = \frac{1200}{6,28 \cdot 3 \cdot 750 \cdot 000} = 0,000052 \text{ хн} = 52 \text{ мкхн.}$$

Ако приемем, че бобината за свързка има индуктивност $L_{св} = 5 \text{ мкхн}$, минималната индуктивност на вариометъра е $L_{в. мин}$

$= 29 - 5 = 24$ мкхн, а максималната му индуктивност е $L_{в, макс} = 52 - 5 = 47$ мкхн.

53. Радиопредавател излъчва ултракъса вълна $\lambda = 6$ м; антената му е незаземена (рис. 19, а), с дължина $l = 4$ м. Тя е свързана индуктивно с високочестотен генератор с $L_{св} = 0,5$ мкхн. Какъв настройващ елемент трябва да се включи последователно в антената и колко голям е той?

Решение. Собствената вълна на антената е $\lambda = 2l = 2 \cdot 4 = 8$ м.

Следователно за нейната настройка е необходимо да се включи скъсяващ кондензатор $C_{ск}$ (рис. 20, в).

Реактивното съпротивление на антената съгласно формула 39 е

$$X_A = 500 \cotg \left(\frac{2\pi l}{\lambda} \right) = 500 \cotg \left(\frac{6,28 \cdot 2}{6} \right) = 89 \text{ ома.}$$

Това съпротивление е индуктивно, понеже има положителен знак.

Към него се прибавя индуктивното съпротивление на $L_{св}$:

$$X_{св} = 2\pi f L_{св} = 2\pi \frac{300\,000\,000}{6} \cdot 0,0000005 = 157 \text{ ома.}$$

Общото индуктивно съпротивление е $X_A + X_{св} = 289 + 157 = 446$ ома.

Капацитивното съпротивление на настройващия (скъсяващ) кондензатор трябва да уравни това индуктивно съпротивление:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{6,28 \cdot f C} = 446,$$

откъдето

$$C = \frac{1}{6,28 \cdot 300\,000\,000 \cdot 446} = \frac{1}{314\,000\,000 \cdot 446} = 0,00000000007 \text{ ф} = 7 \text{ пф.}$$

54. Радиолюбител употребява за антена проводник, дълъг 5 м. Кога тази антена ще излъчва по-дълга вълна: когато е заземена или когато не е заземена? Колко дълга ще бъде излъчената в двата случая вълна, ако антената е естествено настроена (без настройващи елементи)?

55. В основанието на вертикална заземена антена е измерен максимален антенен ток $I_A = 2$ а. Антената е настроена с удължителна индуктивност съгласно рис. 20, а. Колко голяма е тази индуктивност, ако $\lambda = 30$ м, дължината на антената $l = 6$ м, а индуктивността за свързка $L_{св} = 1$ мкхн $= 0,000001$ хн. Каква

електродвижеща сила е индукирана в $L_{св}$, ако общото загубно съпротивление на антената без съпротивлението на излъчване е $R_{заг} = 4,2$ ома?

56. Възможно ли е да се настрои с вариометър вертикална заземена антена с $l = 10$ м, ако предавателят излъчва в обхвата: $\lambda = 20 \div 30$ м?

57. Какви основни и какви хармонични вълни може да излъчва антена с дължина $l = 8$ м, ако тя е: а) заземена и б) незаземена?

2. ПРИЕМНИ АНТЕНИ

Когато приемната антена с ефективна височина H_{ef} се намира в променливо електромагнитно поле с напрегнатост $E \left[\frac{\text{мкв}}{\text{м}} \right]$, в нея (антената) се индукира електродвижеща сила

$$E = E \cdot H_{ef} \cdot \sin \alpha, \quad (44)$$

където α е ъгълът между посоката на магнитните силови линии и антената (рис. 23).

Токът I_A , който протича през приемната антена при индуктивна връзка на същата с първия трептящ кръг на приемника (рис. 23), се изчислява с формула 40, която важи за предавателната антена. Реактивното съпротивление X_A се определя с формула 38 — това съпротивление представлява сбор от реактивното съпротивление на самата антена и реактивното съпротивление на бобината за свързка $X_{св} = 2\pi f L_{св}$.

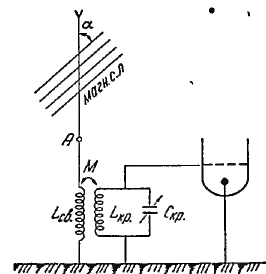


Рис. 23

Задачи

58. Антената на един радиоприемник е вертикална и заземена и има ефективна височина $H_{ef} = 5$ м (геометричната дължина на антената е двойно по-голяма: 10 м). Тя е поставена перпендикулярно на магнитните силови линии на електромагнитното поле, чиято напрегнатост е $E = 10 \frac{\text{мкв}}{\text{м}}$; свързана е ин-

дуктивно с първия трептящ кръг (рис. 23) чрез бобина за свързка с индуктивност $L_{cs} = 25,5 \text{ мкхн} = 0,0000255 \text{ хн}$. Приема се вълна $\lambda = 80 \text{ м}$ ($f = 3750000 \text{ хц}$). Да се определи стойността на антенния ток, ако активното съпротивление на антената е $R_A = 20 \text{ ома}$.

Решение. В антената се индуцира електродвижеща сила

$$E = E \cdot H_{ef} = 10,5 = 50 \text{ мкв.}$$

Реактивното съпротивление на антената съгласно формула 39а е

$$X_A = -500 \cotg\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right) = -500 \cotg\left(\frac{6,28}{80} \cdot 10\right) = -500 \text{ ома.}$$

Реактивното съпротивление на бобината за свързка е

$$X_{cs} = 2\pi f L_{cs} = 6,28 \cdot 3750000 \cdot 0,0000255 = 600 \text{ ома.}$$

Общото реактивно съпротивление на антенната верига е равно на разликата между капацитивното $X_A = -500 \text{ ома}$ и индуктивното $X_{cs} = 600 \text{ ома}$:

$$X = 600 - 500 = 100 \text{ ома.}$$

Импедансът на антенната верига е

$$Z_A = \sqrt{R_A^2 + X^2} = \sqrt{20^2 + 100^2} = 102 \text{ ома.}$$

Антенният ток е $I_A = \frac{E}{Z_A} = \frac{50}{102} \approx 0,5 \text{ ма.}$

59. Колко голяма ще бъде индуцираната електродвижеща сила в приемната антена от задача 58, ако антенният проводник съдържа ъгъл $\alpha = 30^\circ$ с посоката на магнитните силови линии?

В. ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ВЪЛНИ

Електромагнитната вълна, която излъчва радиопредавателят, се характеризира със своята честота f и с дължината си

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300\,000\,000 \text{ (м)}}{f \text{ (хц)}}. \quad (45)$$

Тя може да бъде изразена и с фиксиран номер (фиксирана вълна)

$$\lambda \text{ в } \phi \cdot s = \frac{12\,000}{\lambda \text{ (м)}} \text{ или } \lambda \text{ в } \phi \cdot s = \frac{f \text{ (кхц)}}{25 \text{ (кхц)}}, \quad (46)$$

когато съседните вълни се отличават с 25 кхц една от друга.

Далечината на предаването на радиосигнала зависи от напрегнатостта (интензивността) на електромагнитното поле на вълната E ; тази величина се измерва в $\frac{\text{микроволти}}{\text{метър}} \left(\frac{\text{мкв}}{\text{м}}\right)$. Сигналът се приема добре от суперхетеродинен радиоприемник, когато $E = 5 \div 15 \frac{\text{мкв}}{\text{м}}$, а при наличност на смущения напрегнатостта трябва да бъде по-голяма: от 10 до 50 $\frac{\text{мкв}}{\text{м}}$.

При устройване на радиосъобщения на открит терен с приземна вълна с $\lambda = 50 \div 200 \text{ м}$, и то на близки разстояния (до 20 км), напрегнатостта на полето E може да бъде определена със satisfactorna точност с формулата

$$E = 25,5 \frac{H_{ef} \cdot I_A \cdot \lambda}{d^2} \left(\frac{\text{мкв}}{\text{м}}\right). \quad (47)$$

Разстоянието d , на което може да се устрои сигурна връзка с ултракъси вълни, се определя с формулата

$$d = 3,5 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (48)$$

в която h_1 и h_2 са височините в метри на предавателната и приемната антена над равнинна земна повърхност (рис. 24), а

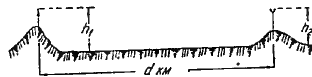


Рис. 24

d е разстоянието в километри. Напрегнатостта на електромагнитното поле E на разстояние d , определено с формула 48, се изчислява с формулата

$$E = 84 \frac{\sqrt{P_A} \cdot h_1 \cdot h_2}{d^2 \cdot \lambda}, \quad (49)$$

където P_A е излъчената мощност във ватове, d се взема в км, а h_1 , h_2 и λ — в метри.

Когато електромагнитната вълна прониква в земята (суша и море), напрегнатостта E се намалява чувствително. Под „дълбочина на проникването“ се разбира разстоянието, което изминава вълната от въздуха навътре в земята, докато величината

E се намали 2,71 пъти. Дълбочината на проникване се изчислява с формулата

$$d_{\text{прон}} = 1,6 \sqrt{\frac{\rho}{f}}, \quad (50)$$

където ρ е специфичното съпротивление на почвата (или водата), а f е честотата в kHz .

Задачи

60. Честотата, с която трепти електромагнитната вълна, е $f = 3\,000\,000 \text{ Hz}$. Да се определи дължината λ и фиксираният номер.

Решение. Съгласно формула 45

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300\,000\,000}{3\,000\,000} = 100 \text{ м.}$$

Според формула 46 номерът на фиксираната вълна е

$$N_{\text{в. в.}} = \frac{12\,000}{\lambda} = \frac{12\,000}{100} = 120.$$

61. Антената на един предавател има ефективна височина $H_{\text{эф}} = 4 \text{ м}$; антенният ток е $I_A = 0,5 \text{ а}$, а дължината на вълната е 100 м . Да се определи напрегнатостта на полето на разстояние $d = 20 \text{ км}$.

Решение. Използва се формула 47:

$$E = 25,5 \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 100}{20^2} = 12,75 \frac{\text{мкВ}}{\text{м}}.$$

62. Радиопредавателят работи на вълна $\lambda = 40 \text{ м}$, антената му има ефективна височина $H_{\text{эф}} = 8 \text{ м}$, а антенният ток е $I_A = 1 \text{ а}$. На какво разстояние d напрегнатостта на електромагнитното поле се равнява на $10 \frac{\text{мкВ}}{\text{м}}$?

Решение. От формула 47 се намира, че

$$d = \sqrt{\frac{25,5 \cdot H_{\text{эф}} \cdot I_A \cdot \lambda}{E}} = \sqrt{\frac{25,5 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 40}{10}} = 28,5 \text{ км.}$$

63. На радиопредавателя от задача 62 се поставя по-къса антена — с $H_{\text{эф}} = 2 \text{ м}$. Колко пъти се намалява далечината на действие на предавателя?

Решение. Ефективната височина на антената е намалена 4 пъти. От формулата $d = \sqrt{\frac{25,5 \cdot H_{\text{эф}} \cdot I_A \cdot \lambda}{E}}$ следва, че за да се

постигне същата напрегнатост на полето, е необходимо разстоянието d да се намали $\sqrt{4} = 2$ пъти. Следователно с четири пъти по-къса антена ще се устрои радиосвързка на два пъти по-късо разстояние: $d = \frac{28,5}{2} = 14,25 \text{ км}$.

64. Антената на един предавател на ултракъси вълни е устроена на височина $h_1 = 50 \text{ м}$, а антената на приемника — на височина $h_2 = 20 \text{ м}$. На какво максимално разстояние d може да се устрои радиосъобщение между предавателя и приемника?

Решение. Максималното разстояние се определя с формула 48

$$d = 3,5 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) = 3,5 (\sqrt{50} + \sqrt{20}) = 40,25 \text{ км.}$$

65. Каква е напрегнатостта на полето на ултракъсата вълна с $\lambda = 5 \text{ м}$, излъчвана от радиопредавателя от задача 64 при същите височини на разполагане на предавателната и приемната антена, ако излъчената мощност $P_A = 36 \text{ Вт}$?

Решение. Съгласно формула 49

$$E = 84 \frac{\sqrt{P_A}}{d^2} \cdot \frac{h_1 \cdot h_2}{\lambda} = 84 \frac{\sqrt{36}}{40,25^2} \cdot \frac{50 \cdot 20}{5} = 63 \frac{\text{мкВ}}{\text{м}}.$$

66. На каква дълбочина проникват вълните $\lambda_1 = 40 \text{ м}$ и $\lambda_2 = 5 \text{ м}$, първо, в глинестата почва и, второ, в морската вода, ако специфичното съпротивление на глинестата почва е $\rho_{\text{гл}} = 10\,000 \text{ ом. см}$, а същото съпротивление на водата е $\rho_{\text{в}} = 25 \text{ ом. см}$?

Решение. Съгласно формула 50 за $\lambda = 40 \text{ м}$ за глинестата почва

$$d_{\text{прон}} = 1,6 \sqrt{\frac{10\,000}{300\,000}} = 1,6 \sqrt{\frac{10\,000 \text{ ом. см}}{300\,000 \text{ kHz}}} = 1,84 \text{ м};$$

за морската вода

$$d_{\text{прон}} = 1,6 \sqrt{\frac{25}{7500}} = 0,09 \text{ м} = 9 \text{ см.}$$

За $\lambda = 5 \text{ м}$, сиреч за $f = 60\,000 \text{ kHz}$ при глинестата почва

$$d_{\text{прон}} = 1,6 \sqrt{\frac{10\,000}{60\,000}} = 0,66 \text{ м} = 66 \text{ см.}$$

За морската вода: $d_{\text{прон}} = 1,6 \sqrt{\frac{25}{60\,000}} = 0,03 \text{ м} = 3 \text{ см.}$

Г. ЕЛЕКТРОВАКУУМНИ ПРИБОРИ

1. ОТОПЛИТЕЛНА ВЕРИГА НА ЕЛЕКТРОВАКУУМНИТЕ ПРИБОРИ

На отоплителната жичка на всяка радиолампа се подава отоплително напрежение $E_{отопл}$, което прокарва през жичката ток

$$I_{отопл} = \frac{E_{отопл}}{R_{ж}}, \quad (51)$$

където $R_{ж}$ е съпротивлението на отоплителната жичка в нагрятото състояние.

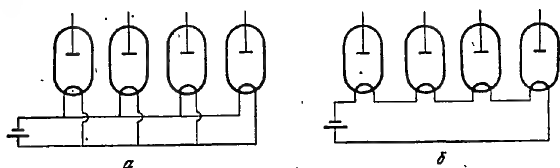


Рис. 25

Радиотехническите устройства (приемници, предаватели, усилватели) имат нормално няколко радиолампи, чиито отоплителни жички се загреват с ток от общ токоизточник. Когато послед-

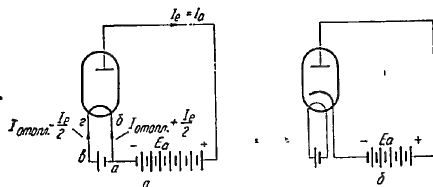


Рис. 26

ният е с ниско напрежение, отоплителните жички на всички радиолампи се включват паралелно към него (рис. 25, а); при такова свързване всички радиолампи са с еднакво отоплително напрежение; през отоплителните жички на разните лампи обаче

могат да протичат различни по стойност токове. Когато отоплителният токоизточник е с високо напрежение (нормално това е електромерната), отоплителните жички на лампите се включват последователно към общия токоизточник (рис. 25, б).

При пряко отопление на радиолампите отоплителната верига представлява част от анодната (или веригата на емисионния ток I_e). Затова през единия клон на първата верига (на рис.

26, а през проводника а — б) протича ток $I = \frac{1}{2} I_e + I_{отопл}$, а през другия клон (през проводника в — г) протича ток $I_{отопл} - \frac{1}{2} I_e$. При непряко отопление (рис. 26, б) отоплителната верига е напълно отделена от анодната.

Задачи.

67. В радиоприемника „Родина“ са употребени пет лампи, чиито отоплителни жички са паралелно включени на намотката с напрежение 6,3 в. През жичката на лампата ЕСН21 протича ток $I = 0,33$ а; през същата жичка на лампите ЕФ22 (два броя) и на ЕМ4 (един брой) — ток 0,2 а, а на крайната лампа ЕВЛ21 — ток 0,9 а. Какво е съпротивлението на отделните отоплителни жички и каква мощност доставя отоплителната 6,3 волтова намотка на мрежовия трансформатор?

Решение. Съпротивлението на жичките се определя с формула 51. На лампа ЕСН21 съпротивлението $R_{ж} = \frac{U_{отопл}}{I_{отопл}} =$

$$= \frac{6,3}{0,33} = 19 \text{ ома. На двете лампи ЕФ22 и на ЕМ4 съпротивлението}$$

$$R_{ж} = \frac{6,3}{0,2} = 31,5 \text{ ома. На крайната лампа ЕВЛ21 съпротивлението}$$

$$R_{ж} = \frac{6,3}{0,9} = 7 \text{ ома.}$$

Изчислените стойности на $R_{ж}$ са съпротивления на жичките в нагрятото състояние.

Мощността, доставяна от отоплителната намотка, е

$$P_{отопл} = U_{отопл} \cdot I_{общ} = 6,3 \cdot I_{общ}$$

Общият отоплителен ток $I_{общ}$ е равен на сбора от отделните токове:

$$I_{общ} = 0,33 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,9 = 1,83 \text{ а.}$$

$$\text{Мощността } P_{отопл} = 6,3 \cdot 1,83 = 11,53 \text{ вт.}$$

68. В един радиоприемник са употребени лампи U-серия, чиито отоплителни жички са последователно свързани, и през всяка преминава ток $I_{от.ла} = 0,1$ а. Отоплителното напрежение за отделните лампи е: 20 в — за двете лампи UCH21, 50 в — за изправителката UY1 и 55 в — за крайната лампа UBL21. Да се определи: а) какви предсъпротивления трябва да се включат последователно в общата отоплителна верига и б) каква мощност P се изразходва за отопление на всички лампи при напрежение на мрежата 150 или 220 в (схемата на отоплителната верига е показана на рис. 29, б).

Решение. За отопление на всички лампи е необходимо напрежение $U_{от.ла} = 20 + 20 + 50 + 55 = 145$ в.

Ако напрежението на мрежата е 150 в, разликата $150 - 145 = 5$ в трябва да се угаси с предсъпротивление $R_1 = \frac{5}{0,1} = 50$ ома.

Ако напрежението на мрежата е 220 в, последователно към R_1 трябва да се включи допълнително съпротивление $R_2 = \frac{220 - 150}{0,1} = 700$ ома.

Изразходваната мощност в отоплителната верига е

а) при 150 волтова мрежа: $P_{отоп.ла} = 150 \cdot 0,1 = 15$ вт;

б) при 220 волтова мрежа: $P_{отоп.ла} = 220 \cdot 0,1 = 22$ вт.

69. На радиоприемника от задача 68 е изгоряла изправителната лампа UY1. Същата трябва да се замени с нов тип изправителна лампа VY1 с отоплително напрежение 55 в и отоплителен ток 0,05 а. Каква промяна трябва да се направи в общата отоплителна верига на радиоприемника?

Решение. В този случай необходимото напрежение за отопление на всички лампи е с 5 в по-голямо: $20 + 20 + 55 + 55 = 150$ в.

Следователно при напрежение на мрежата 150 в съпротивлението $R_1 = 50$ ома (рис. 29, б) трябва да се изключи. При 220 в мрежово напрежение трябва да остане само съпротивлението $R_2 = 700$ ома.

Понеже през отоплителната жичка на лампа VY1 трябва да протича по-слаб ток — 0,05 а, следва паралелно на нея да се включи съпротивление

$$R = \frac{55}{0,05} = 1100 \text{ ома.}$$

При 220 волтова мрежа може да се употреби скална лампичка, включена последователно в общата отоплителна верига (рис. 27, а). В този случай трябва да се намали съпротивлението R_2 . Нека,

скалната лампичка да е за 18 в, 0,1 а. Следователно необходимото напрежение е $150 + 18 = 168$ в; съпротивлението R_2 трябва да угаси $220 - 168 = 52$ в; сега неговата стойност трябва да бъде

$$R_2 = \frac{52}{0,1} = 520 \text{ ома.}$$

70. В един радиоприемник са употребени съветските лампи 6A7, 6K3, 6Г2 и 6П6 — всички с 6,3 в отопление. Изгаря крайната лампа 6П6. Същата се заменя с европейската лампа AL2. Какво трябва да се направи?

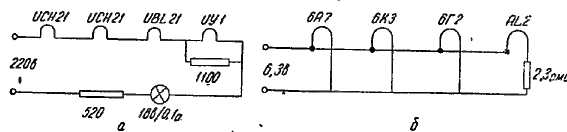


Рис. 27

Решение. Понеже лампата AL2 се нуждае само от 4 в отоплително напрежение, за да се постави на мястото на лампа 6П6, е необходимо в отоплителната ѝ верига да се включи последователно съпротивление R (рис. 27, б), което да понижи напрежението от 6,3 на 4 в. Стойността на това съпротивление трябва да бъде

$$R = \frac{6,3 - 4}{1} = 2,3 \text{ ома.}$$

Забележка. Отоплителният ток на новата лампа AL2 е 1 а.

2. ДВУЕЛЕКТРОДНА ЛАМПА

Под влияние на положителното анодно напрежение E_a излъчените от катода електрони пристигат на анода със скорост

$$v = 594 \sqrt{E_a} \frac{\text{КМ}}{\text{сек}} \quad (52)$$

Премавиващият през лампата електронен поток представлява анодният ток I_a , чиято стойност зависи от приложеното на анода напрежение E_a . Зависимостта на I_a от E_a е изобразена графически чрез характеристиката на диода, показана на рис. 28. Във възходящия участък на характеристиката зави-

симостта на I_a от E_a се изравнява със закона на трите втори

$$I_a = \kappa \sqrt{E_a^3} = \kappa E_a^{3/2}, \quad (53)$$

където κ е коефициент на пропорционалност, определен от конструктивното устройство на електродите на диода — от

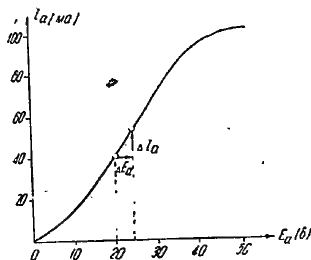


Рис. 28

дължината на катодната жичка l и от разстоянието между анода и катода d според формулата

$$\kappa = 0,0000146 \frac{l}{d}. \quad (54)$$

В тази формула l и d се вземат в еднакви единици. Тя е в сила за цилиндричен анод, в оста на който е разположен катодът.

Вътрешното съпротивление на диода е отношението между нарастването на анодното напрежение ΔE_a и съответното нарастване на анодния ток ΔI_a (виж рис. 28):

$$R_i = \frac{\Delta E_a}{\Delta I_a}. \quad (55)$$

Двуелектродната лампа се използва като еднопътен токоизправител с мрежов трансформатор (рис. 29, а) или без трансформатор (рис. 29, б) и като двупътен токоизправител (рис. 30). Ако токоизправителят е без изглаждащ кондензатор C_1 и без филтър LC_2 , средната стойност на изправеното напреже-

ние U_0 при еднопътния токоизправител се определя с формулата

$$U_0 = 0,45 U_{ef} \frac{R}{R_i + R}, \quad (56)$$

а при двупътния токоизправител — с формулата

$$U_0 = 0,9 U_{ef} \frac{R}{R_i + R}. \quad (57)$$

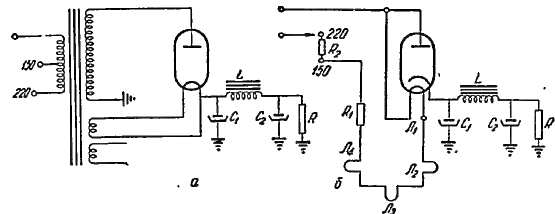


Рис. 29

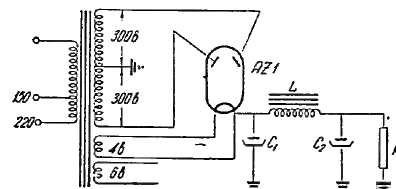


Рис. 30

В последните две формули R е съпротивлението на консуматора (в радиоприемника това е общото правотоково съпротивление на всички паралелно включени лампи), а R_i е вътрешното съпротивление на токоизправителя, състоящо се от омическото съпротивление, собствено и внесено, на вторичната намотка на трансформатора R_{mp} (ако има такъв) плюс вътрешното съпротивление R_i на диода, определено с формула 55.

Средната стойност на изправения ток през консуматора се определя, като се раздели напрежението от формула 56 (или 57) на съпротивлението на консуматора R .

При включване на изглаждащия кондензатор изправеното напрежение се повишава. Неговата точна големина зависи: 1) от капацитета на кондензатора и 2) от тока, който протича през правоковия консуматор. На рис. 31, а е изобразена графична зависимостта на изправеното напрежение от постоянния ток през консуматора при еднопътния токоизправител, а на рис. 31, б е дадена същата зависимост за двупътния токоизправител. Дадени са няколко криви в сила за няколко различни стойности на капацитета на изглаждащия кондензатор C_1 . Данните от кривите са получени при ефективна стойност на променливото напрежение $U_{ef} = 300$ в във вторичната трансформаторна намотка. От кривите се вижда, че за $I_R = 0$, сиреч при изключен консуматор, правото напрежение на токоизправителя е 420 в — тази стойност е максималната на променливото напрежение, чиято $U_{ef} = 300$ в:

$$U_{max} = 1,4 U_{ef} = 1,4 \cdot 300 = 420 \text{ в.}$$

Задачи

71. Между анода и катода на токоизправителната лампа е приложено напрежение $E_a = 121$ в. С каква скорост пристигат на анода електроните?

Решение. Съгласно формула 52

$$v = 594 \sqrt{E_a} = 594 \sqrt{121} = 6534 \text{ км/сек.}$$

72. Катодът на една двуелектродна лампа е дълъг 1,5 см; разстоянието между него и анода $d = 2$ мм. Какъв аноден ток протича през лампата, ако на анода е приложено напрежение $E_a = 121$ в?

Решение. Съгласно формула 54 коефициентът

$$\kappa = 0,0000146 \frac{l}{d} = 0,0000146 \frac{15}{2} = 0,00011.$$

Стойността на анодния ток се определя с формула 53

$$I_a = \kappa \sqrt{E_a} = 0,00011 \sqrt{121} = 0,146 \text{ а} = 146 \text{ ма.}$$

73. Да се определи вътрешното съпротивление на диода, чиято характеристика е дадена на рис. 28, за $E_a = 20$ в.

Решение. От рис. 28 се вижда, че на нарастването $\Delta E_a = 4$ в съответствува нарастване $\Delta I_a = 16$ ма; съгласно формула 55

$$R_i = \frac{\Delta E_a}{\Delta I_a} = \frac{4}{0,016} = 250 \text{ ома.}$$

74. Променливото мрежово напрежение, което се подава на еднопътния токоизправител на рис. 29, а, има ефективна стойност $U_{ef} = 300$ в. Вътрешното съпротивление на лампата е

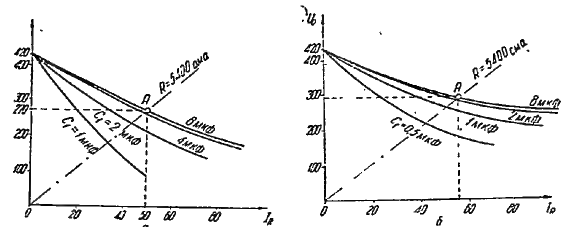


Рис. 31

$R_i = 650$ ома, а омическото съпротивление на вторичната трансформаторна намотка заедно с внесеното съпротивление е $R_{тр} = 50$ ома. Токоизправителят захранва с постоянен ток консуматор с $R = 5400$ ома. Да се определи средната стойност на изправеното напрежение: 1) без изглаждащ кондензатор и 2) с изглаждащ кондензатор с капацитет $C_1 = 8$ мкф.

Решение. При липса на изглаждащ кондензатор съгласно формула 56

$$U_0 = 0,45 \cdot 300 \frac{5400}{650 + 50 + 5400} = 119 \text{ в.}$$

Средната стойност на изправения ток през консуматора

$$I_0 = \frac{U_0}{R} = \frac{119}{5400} = 0,022 \text{ а} = 22 \text{ ма.}$$

При включване на изглаждащия кондензатор U_0 и I_0 се повишават.

Стойността на изправеното напрежение U_0 се определя от кривата за 8 мкф на рис. 31, а — пресечната точка на правата, означена с 5400 ома, с кривата представлява търсената средна стойност на напрежението в двата края на консуматора R , а

именно $U'_0 = 270$ в. На това напрежение по абсцисната ос съответствува изправен ток $I'_0 = 50$ ма. Става ясно, че благодарение на изглаждащия кондензатор както напрежението U_0 , така и токът I_0 порастват повече от два пъти.

75. Как ще се изменят изправеното напрежение и изправеният ток на токоизправителя от задача 74, ако същият се преконструира като двупътен ($U_{эф} = 300$ в е напрежението в половината анодна намотка).

Решение. От сравняването на формули 56 и 57 се вижда, че без изглаждащ кондензатор напрежението U_0 се удвоява при двупътното токоизправяне; ще се удвои следователно и токът I_0 :

$$U_0 = 2 \cdot 119 = 238 \text{ в и } I_0 = 2 \cdot 22 = 44 \text{ ма.}$$

При включване на изглаждащия кондензатор от рис. 31, б се вижда, че $U'_0 = 292$ в и $I'_0 = 54$ ма.

Получените резултати показват, че с двупътния токоизправител с изглаждащ кондензатор се постига най-високо изправено напрежение.

76. Под какво напрежение се намира анодът на изправителя от задача 75 (рис. 30)?

Решение. Анодното напрежение U_a е напрежение между анода и катода на изправителката. Между тези лампови електроди са включени последователно: променливото напрежение $U_{эф} = 300$ в, приложено в половината на вторичната намотка на мрежовия трансформатор (между анода и шасито) и постоянното напрежение $U_0 = 292$ в, приложено между шасито и катода. Понеже тези две напрежения са разнородни, общото ефективно напрежение ще равнява на геометричния сбор от $U_{эф}$ и U_0 и се изчислява с формулата

$$U_{ф.с.бш} = \sqrt{300^2 + 292^2} = 418,6 \text{ в.}$$

Максималната стойност на анодното напрежение $U_{a, макс}$ се получава в моментите, когато трансформаторното напрежение е в отрицателния си максимум (рис. 32) — $U_{a, макс} = -1,41 U_{эф} = -1,41 \cdot 300 = -423$ в:

$$U_{a, макс} = -423 - 292 = -715 \text{ в.}$$

Понеже това напрежение е отрицателно, през лампата не протича аноден ток. Това напрежение обаче може да предизвика пробив между анода и катода, ако лампата е с лош вакуум.

77. С колко волта ще се понижи напрежението в консуматора R от задача 75, ако между него и изглаждащия кондензатор се включи филтърът LC_2 и ако омическото съпротивление на дросела е 200 ома?

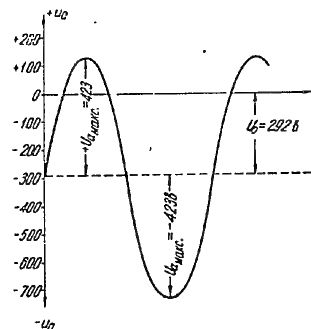


Рис. 32

Решение. Напрежението се понижава с падението в дросела

$$\Delta U = I'_0 R_L = 0,054 \cdot 200 = 10,8 \text{ в.}$$

Следователно консуматорът R ще бъде под напрежение

$$U_R = U'_0 - \Delta U = 292 - 10,8 = 281,2 \text{ в.}$$

78. Какъв ще бъде резултатът от погрешното включване на електролитния кондензатор C_1 на рис. 30: отрицателният ток ще порасне недопустимо, анодът ще се загрее силно (ще се нажежи), възможно е да се огъне и да допре до катода — протеклият ток на късото съединение е в състояние напълно да разруши катода — лампата става негодна.

Отговор. Погрешно включеният кондензатор ще даде някъсо токоизправителната лампа. В резултат на това анодния ток ще порасне недопустимо, анодът ще се загрее силно (ще се нажежи), възможно е да се огъне и да допре до катода — протеклият ток на късото съединение е в състояние напълно да разруши катода — лампата става негодна.

79. Какво напрежение е приложено между двата анода на токоизправителната лампа от задача 75?

81. Да се изчисли мрежовият трансформатор на токоизправителя на рис. 30, ако същият захранва радиоприемник с лампи ЕСН11, ЕВН11 и ЕСЛ11 с постоянно напрежение $U_0 = 260$ в и общ изправен ток $I = 0,07$ а. Токоизправителната лампа е АЗ1.

Основните данни, които се изчисляват, са: напречното сечение S на желязната сърцевина, броят на навивките на всички намотки w и дебелината на проводника им d . Тези пък данни са определени от изразходваната мощност P в радиоприемника.

Общата изразходвана мощност се равнява на сбора от частичните мощности: 1) правоковата P_{Σ} , доставена от токоизправителя в анодните и скранните вериги на лампите $P_{\Sigma} = 260 \cdot 0,07 = 18,2$ вт; 2) отоплителната $P_{отпл}$ за отопление на АЗ1: $P_{изпр} = 4 \cdot 1,1 = 4,4$ вт и 3) отоплителната за другите три лампи при $U_{отпл} = 6,3$ в и общ ток $I_{отпл} = 2$ а, а именно $P_{отпл} = 6,3 \cdot 2 = 12,6$ вт.

Понеже изчислението се прави с известен резерв, затова общата мощност се взема с 10% в повече:

$$P_{общ} = 1,1 (P_{\Sigma} + P_{изпр} + P_{отпл}) = 1,1 (18,2 + 4,4 + 12,6) = 38,7 \text{ вт.}$$

В таблица 1-ва са дадени данните за $P_{общ}$, броят на навивките на волт, броят на всички навивки w и дебелината на проводника d за различни намотки (за различни напрежения). Понеже в тази таблица най-близката мощност до 38,7 вт е 40 вт, вземаме данните за нея:

$S = 7,7$ кв. см, $\frac{w}{\text{волт}} = 5,8$ навивки/волт, първичната трансформаторна намотка е с 870 навивки при $d = 0,44$ мм за напрежение на мрежата 150 в, или пък 1280 навивки при $d = 0,36$ мм за 220 в.

Вторичната намотка с напрежение 2×3002 в трябва да има 2×1910 навивки при $d = \frac{0,23}{2} = 0,115$ мм (взема се половината, понеже токът протича през полупериод).

Отоплителната намотка на изправителката за $U = 4$ в — 26 навивки и $d = 1$ мм.

Отоплителната 6,3 волтова намотка — 41 навивки с $d = 1,2$ мм (виж таблица 2-ра).

Необходимият диаметър на проводника на различните намотки в зависимост от стойността на тока, протичащ през проводника, е посочен в таблица 2-ра.

Таблица 1

$P(\text{вт})$	$S(\text{см}^2)$	$\frac{H_{ав}}{\text{волт}}$	150 в		220 в		300 в	340 в	400 в	2 в	4 в	5 в	6,3 в
			w	$d(\text{мм})$	w	$d(\text{мм})$	w	w	w	w	w	w	w
3	2	22,5	3380	0,13	4950	0,11	7430	8410	9900	50	99	123	155
6	3	15	2250	0,17	3300	0,14	3950	5610	6600	33	66	82	103
9	3,6	12,5	1880	0,21	2750	0,17	4120	4670	5500	28	55	68	86
12	4,2	10,7	1610	0,25	2360	0,2	3530	4000	4710	23	47	58	74
15	4,7	9,6	1440	0,27	2110	0,23	3170	3580	4220	21	42	53	66
20	5,5	8,2	1230	0,31	1810	0,26	2700	3070	3610	18	36	45	57
25	6,1	7,4	1110	0,35	1630	0,29	2440	2770	3260	16	33	41	52
30	6,7	6,7	1000	0,39	1470	0,31	2210	2510	2950	15	30	36	46
35	7,2	6,3	950	0,42	1390	0,34	2080	2350	2770	14	28	34	44
40	7,7	5,8	870	0,44	1280	0,36	1910	2170	2550	13	26	31	41
45	8,2	5,5	830	0,47	1210	0,39	1810	2050	2420	12	24	30	39
50	8,7	5,2	780	0,5	1140	0,41	1710	1940	2290	11	23	29	36
55	9,0	5,0	750	0,52	1100	0,43	1650	1870	2200	10	22	27	35
60	9,5	4,7	710	0,54	1030	0,45	1550	1770	2070	10	21	26	33
65	9,8	4,6	690	0,56	1010	0,47	1520	1710	2020	10	20	25	32
70	10,2	4,4	660	0,58	970	0,49	1450	1640	1840	9	20	24	31
75	10,6	4,2	630	0,6	920	0,5	1380	1570	1820	9	19	23	29
80	10,9	4,1	620	0,62	900	0,52	1350	1530	1800	9	18	23	29
85	11,3	4,0	600	0,64	880	0,53	1320	1490	1760	9	18	22	27
90	11,6	3,9	590	0,66	860	0,54	1290	1460	1720	8	18	22	27
95	11,9	3,8	570	0,68	840	0,56	1260	1420	1670	8	17	21	26
100	12,2	3,7	560	0,7	810	0,58	1220	1380	1630	8	17	21	25

Таблица 2

I (а)	d (мм)	I (а)	d (мм)	I (а)	d (мм)	I (а)	d (мм)	I (а)	d (мм)	I (а)	d (мм)
5	0,07	35	0,16	70	0,23	0,1	0,3	0,6	0,7	2	1,2
10	0,09	40	0,17	75	0,24	0,2	0,4	0,7	0,75	3	1,4
15	0,11	45	0,18	80	0,26	0,3	0,5	0,8	0,8	4	1,6
20	0,13	50	0,19	99	0,28	0,4	0,55	0,9	0,5	5	1,8
25	0,14	55	0,20	100	0,3	0,5	0,6	1,0	0,9	6	2,0
30	0,15	60	0,21					1,1	1,1		
								1,3	1,1		

3. ТРИЕЛЕКТРОДНА ЛАМПА

Емисионният ток (анодният плюс решетъчният) в триелектродната лампа зависи едновременно както от решетъчното напрежение e_p , така и от анодното e_a . При отрицателно наелектризирана решетка емисионният ток се равнява на анодния: $i_a = i_c$. Когато анодният ток е далеч от състоянието на

насищане (участъка $A'A''$ от характеристиката на рис. 33, а) той се изчислява с формулата

$$i_a = \kappa \sqrt{(e_p + D e_a)^3}, \quad (58)$$

където D е проницаемостта на лампата, а κ — коефициент на пропорционалност и зависи от конструктивното устройство на лампата — изчислява се с формула 54, в сила и за диода.

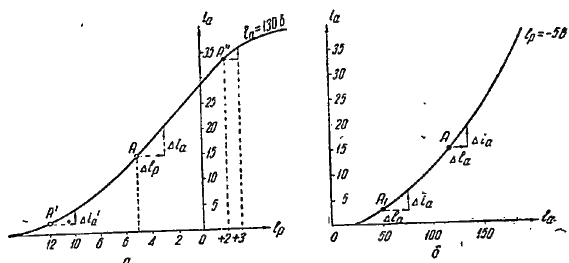


Рис. 33

Решетъчната характеристика на анодния ток на триода изразява графически зависимостта на анодния ток i_a от решетъчното напрежение e_p при неизменено (постоянно) анодно напрежение (рис. 33, а). С помощта на тази характеристика може да бъде определена статичната струмнина S на лампата:

$$S = \frac{\Delta i_a}{\Delta e_p} \text{ при } e_a = \text{const (постоянно)}. \quad (59)$$

Анодната характеристика на триода представлява крива линия, която изразява зависимостта на анодния ток от анодното напрежение (рис. 33, б). С нея се определя вътрешното съпротивление на лампата

$$R_i = \frac{\Delta e_a}{\Delta i_a} \text{ при } e_p = \text{const (постоянно)}. \quad (60)$$

Когато са известни S и R_i , третият параметър на лампата — проницаемостта D , може да се определи с вътрешното уравнение

$$S \cdot D \cdot R_i = 1. \quad (61)$$

Реципрочната стойност на проницаемостта е статичният коефициент на усилването: $\mu = \frac{1}{D}$.

Действителният коефициент на усилването

$$K = \frac{U_{a\sim}}{U_{p\sim}} = \frac{1}{D} \frac{R_a}{R_i + R_a} = \mu \frac{R_a}{R_i + R_a}. \quad (62)$$

В последната формула U_p е възбудителното (решетъчното) променливо напрежение, $U_{a\sim}$ — анодното променливо напрежение, а R_a — анодното съпротивление.

Амплитудата на променливата съставна на анодния ток I_a се определя с формулата

$$I_{a\sim} = \frac{U_{p\sim}}{R_i + R_a} = \frac{U_{p\sim}}{D} \frac{1}{R_i + R_a}. \quad (63)$$

Променливотоковата мощност, получена в товарното съпротивление R_a , може да бъде определена с една от следните формули

$$P_{\sim} = \frac{1}{2} I_{a\sim} \cdot U_{a\sim}; \quad P_{\sim} = \frac{1}{2} I_{a\sim}^2 R_a; \quad P_{\sim} = \frac{1}{2} \frac{U_{a\sim}^2}{R_a}. \quad (64)$$

Правотоковата мощност $P_{\sim}$, която се изразходва от токоизточника в анодната верига на лампата, се определя с формулата

$$P_{\sim} = I_{a0} \cdot U_d, \quad (65)$$

където I_{a0} е постоянната съставна (средната стойност) на анодния ток, а U_d е напрежението на анодния токоизточник.

Отношението между $P_{\sim}$ и $P_{\sim}$ е коефициентът на полезно действие η на лампата като усилвател:

$$\eta = \frac{P_{\sim}}{P_{\sim}} = \frac{\frac{1}{2} I_{a\sim} \cdot U_{a\sim}}{I_{a0} \cdot U_d} = \frac{I_{a\sim} \cdot U_{a\sim}}{2 I_{a0} \cdot U_d}. \quad (66)$$

Разликата между $P_{\sim}$ и $P_{\sim}$ се изразходва за загряване на анодната пластина — тя е загубната мощност на лампата:

$$P_{\text{заг}} = P_{\sim} - P_{\sim}. \quad (67)$$

Задачи

81. Напрежението на решетката на лампата е $e_p = -2$ в, анодното напрежение $e_a = 200$ в, проницаемостта $D = 0,1 = 10\%$, а коефициентът на пропорционалност $\kappa = 0,0006$. Да се определи анодният ток.

Решение. Съгласно формула 58

$$i_a = 0,0006 (-2 + 200 \cdot 0,1)^{1/2} = 0,0458 \text{ а} = 45,8 \text{ ма.}$$

82. Да се определят параметрите S , R_i , D и μ на триода, чиито статични анодни характеристики са дадени на рис. 33, а и 33, б, за $e_p = -5 \text{ в}$ и $e_a = 130 \text{ в}$ (точка А от характеристиката).

Решение. От рис. 33, а се вижда, че за нарастването $\Delta e_p = 2 \text{ в}$ нарастването на тока е $\Delta i_a = 6 \text{ ма}$; следователно

$$S = \frac{\Delta i_a}{\Delta e_p} = \frac{6}{2} = 3 \frac{\text{ма}}{\text{волт}} = 0,003 \frac{\text{а}}{\text{волт}}.$$

От анодната характеристика (рис. 33, б) се вижда, че за $\Delta e_a = 20 \text{ в}$ нарастването $\Delta i_a = 4 \text{ ма}$; следователно

$$R_i = \frac{\Delta e_a}{\Delta i_a} = \frac{20}{0,004} = 5000 \text{ ома} = 5 \text{ кома.}$$

Съгласно вътрешното уравнение 61 проницаемостта е

$$D = \frac{1}{S \cdot R_i} = \frac{1}{0,003 \cdot 5000} = 0,067 = 6,7 \%.$$

Теоретичният коефициент на усилване $\mu = \frac{1}{D} = \frac{1}{0,067} = 15$.

83. Да се сравни стръмнината S в точките А' и А'', намиращи се в по-полегати участъци на характеристиката, със стръмнината в точката А ($e_p = -5 \text{ в}$ и $e_a = 130 \text{ в}$).

Решение. В точката А' стръмнината $S' = \frac{2,5}{2} = 1,25 \frac{\text{ма}}{\text{волт}}$.

В точката А'' стръмнината $S'' = \frac{2}{1} = 2 \frac{\text{ма}}{\text{волт}}$.

Получените резултати показват, че в по-полегатите участъци на характеристиката стръмнината S е по-малка в сравнение със средния най-стръмен участък, където $S = 3 \frac{\text{ма}}{\text{в}}$.

84. Да се определи вътрешното съпротивление на триода от предшествуващата задача за работните точки А' и А'' при изчислената проницаемост $D = 6,7 \%$. (Статичната характеристика е дадена на рис. 33, а.)

85. Да се сравни вътрешното съпротивление на триода, чиито статична характеристика е дадена на рис. 33, б, в полегатия участък при точка А₁ с вътрешното съпротивление в стръмния участък (при точка А).

Решение. В точката А₁ вътрешното съпротивление $R_i' = \frac{25 \text{ в}}{3,5 \text{ ма}} = \frac{25}{0,0035} = 7140 \text{ ома}$. Следователно вътрешното съпро-

тивление на лампата в по-полегатия участък на характеристиката е по-голямо (в стръмния участък при точка А съпротивлението $R_i = 5000 \text{ ома}$).

86. Стръмнината на един триод е $2 \frac{\text{ма}}{\text{в}}$. При повишаване на анодното напрежение с 50 волта анодният ток нараства с 4 ма, при условие че напрежението на решетката остава неизменно. Да се определи вътрешното съпротивление и проницаемостта на лампата.

87. На решетката на триелектродната усилвателна лампа, чиито параметри са определени в задача 82

($S = 3 \frac{\text{ма}}{\text{в}}$, $R_i = 5 \text{ кома}$, $D = 6,7 \%$), е подадено променливо напрежение с амплитуда $U_{p\sim} = 2 \text{ в}$. В анодната верига на лампата е включено ак-

тивно съпротивление $R_a = 15 \text{ кома}$ (рис. 34). Да се определят: а) коефициентът на усилването K ; б) анодното променливо напрежение $U_{a\sim}$; в) анодният променлив ток $I_{a\sim}$ и г) променливата мощност $P_{\sim}$.

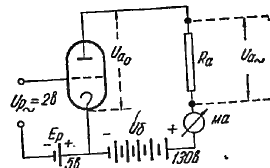


Рис. 34

Решение. Съгласно формула 62

$$K = \mu \frac{R_a}{R_i + R_a} = 15 \frac{15}{5 + 15} = 11,25.$$

Следователно лампата ще усили подаденото ѝ напрежение 11,25 пъти; в анодната верига ще се получи променливо напрежение

$$U_{a\sim} = K U_{p\sim} = 11,25 \cdot 2 = 22,5 \text{ в.}$$

Амплитудата на анодния променлив ток (променливотоковата съставка) съгласно формула 63 е

$$I_{a\sim} = \frac{U_{p\sim}}{D} \frac{1}{R_i + R_a} = \frac{2}{0,067} \frac{1}{5000 + 15000} = 0,0015 \text{ а} = 1,5 \text{ ма.}$$

Същият резултат се получава, ако разделим $U_{a\sim} = 22,5 \text{ в}$ на съпротивлението $R_a = 15000 \text{ ома}$:

$$I_{a\sim} = \frac{U_{a\sim}}{R_a} = \frac{22,5}{15000} = 0,0015 \text{ а} = 1,5 \text{ ма.}$$

Образуващата се в R_a променливотокова мощност

$$P_{\sim} = 0,5 I_{a_{\sim}} U_{a_{\sim}} = 0,5 \cdot 0,0015 \cdot 22,5 = 0,0169 \text{ вт} = 16,9 \text{ мвт.}$$

88. На рис. 35, а са дадени три статични решетъчни характеристики, получени за $e_a = 200, 150$ и 100 в. В анодната верига на триода е включено активното съпротивление $R_a =$

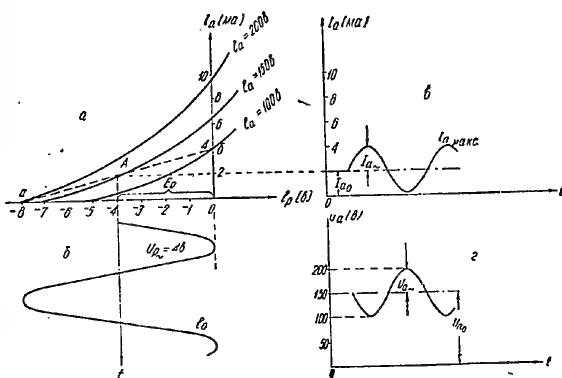


Рис. 35

$= 25\,000 \text{ ома}$. При липса на възбуждащо напрежение, сиреч за $U_{p_{\sim}} = 0$, преднапрежението на лампата е $E_p = -4$ в, а анодният ток е $I_{a_0} = 2 \text{ ма} = 0,002 \text{ а}$. На коя статична характеристика се намира изходната работна точка А? След това се подава възбуждащо напрежение с амплитуда $U_{p_{\sim}} = 4$ в (рис. 35, б). Да се начертае динамичната характеристика на лампата, ако под влияние на $U_{p_{\sim}}$ напрежението на анода се изменя между 200 и 100 в. Да се начертае диаграмата на анодния ток и се определи амплитудата на променливата му съставна. Колко пъти усилва лампата?

Решение. Понеже при $U_{p_{\sim}} = 0$ през лампата тече постоянен аноден ток $I_{a_0} = 2 \text{ ма}$, в съпротивлението $R_a = 25\,000 \text{ ома}$ се получава правотоково падение на напрежение $U_{R_{\sim}} = I_{a_0} \cdot R_a =$

$= 0,002 \cdot 25\,000 = 50 \text{ в}$. Следователно изходната работна точка се намира на статичната характеристика за $e_a = 200 - 50 = 150 \text{ в}$ (рис. 35, а). Понеже при наличност на $U_{p_{\sim}} = 4$ в напрежението на анода се изменя между 200 и 100 в около средната стойност $U_{a_0} = 150 \text{ в}$ (рис. 35, б), следва, че амплитудата на променливото анодно напрежение ще бъде

$$U_{a_{\sim}} = 200 - 150 = 150 - 100 = 50 \text{ в.}$$

Амплитудата на анодния ток е

$$I_{a_{\sim}} = \frac{U_{a_{\sim}}}{R_a} = \frac{50}{25\,000} = 0,002 \text{ а} = 2 \text{ ма.}$$

Следователно под влияние на положителния полупериод на $U_{p_{\sim}}$ максималната стойност на анодния ток ще стане $i_{a_{\text{макс}}} = I_{a_0} + I_{a_{\sim}} = 2 + 2 = 4 \text{ ма}$; тази стойност ще се получи за $e_p = E_p + 4 = -4 + 4 = 0$ (рис. 35, а и 35, б). За $e_p = E_p - 4 = -4 - 4 = -8 \text{ в}$ анодният ток става 0 ; за това напрежение в R_a няма падение на напрежение — анодът се намира под 200 в напрежение. Става ясно, че работната (динамичната) характеристика ще се изобрази с кривата aAb на рис. 35, а.

На рис. 35, б е начертана диаграмата на анодния ток. Вижда се, че амплитудата на неговата променлива съставна е $I_{a_{\sim}} = 2 \text{ ма}$. Коефициентът на усилване на лампата е

$$K = \frac{U_{a_{\sim}}}{U_{p_{\sim}}} = \frac{50}{4} = 12,5.$$

89. Каква мощност изразходва токоизточникът в анодната верига на лампата от задача 88, каква променливотокова мощност се получава в R_a и колко голям е коефициентът на полезно действие на лампата, ако анодният токоизточник е с напрежение $U_d = 200 \text{ в}$?

Решение. Токоизточникът доставя в анодната верига мощността

$$P_{\sim} = U_d \cdot I_{a_0} = 200 \cdot 0,002 = 0,4 \text{ вт.}$$

Ако на решетката не е подадено променливо напрежение $U_{p_{\sim}}$, мощността $P_{\sim} = 0,4 \text{ вт}$ се разпределя между R_a и анода на лампата. В съпротивлението R_a се изразходва във вид на топлина правотоковата мощност

$$P_{R_{\sim}} = I_{a_0}^2 \cdot R_a = 0,002^2 \cdot 25\,000 = 0,1 \text{ вт.}$$

В анодната пластина се изразходва правотоковата мощност

$$P_{\text{аз}} = 0,4 - 0,1 = 0,3 = I_{a_0} \cdot U_{a_0} = 0,002 \cdot 150 = 0,3 \text{ вт.}$$

След подаване променливото напрежение на решетката $U_{p\sim}$ анодният токоизточник продължава да изразходва мощността $P_{\sim} = 0,4 \text{ вт.}$ Тя се разпределя така:

- 1) правотокова в R_a , а именно $P_R = I_{a_0}^2 \cdot R_a = 0,1 \text{ вт.}$;
- 2) променливотокова в R_a :

$$P_{R\sim} = \frac{1}{2} I_{a_0} \cdot U_{a\sim} = \frac{1}{2} 0,002 \cdot 50 = 0,05 \text{ вт.};$$

- 3) За загряване на анодната пластина се изразходва мощността $P_{\text{аз}\sim}$, равна на разликата

$$P_{\text{аз}\sim} = P_{\text{аз}} - P_{R\sim} = 0,3 - 0,05 = 0,25 \text{ вт.}$$

Сборът от всички мощности се равнява на батерийната мощност:

$$P_{\delta} = P_R + P_{R\sim} + P_{\text{аз}\sim} = 0,1 + 0,05 + 0,25 = 0,4 \text{ вт.}$$

Получените резултати показват, че след подаване на променливото напрежение $U_{p\sim}$ анодната пластина се загрява по-слабо — с мощност 0,25 вт, а не с 0,3 вт.

90. Какъв ток ще се измери в анодната верига на усилвателната лампа от задачи 88 и 89, ако се включи: 1) правотоков милиампермер и 2) променливотоков милиампермер (виж рис. 34)?

Отговор. С правотоковия милиампермер ще се измери постоянната съставна на анодния ток $I_{a_0} = 2 \text{ ма.}$ С променливотоковия милиампермер ще се измери ефективната стойност на правия пулсиращ аноден ток на рис. 35, а:

$$I_{\text{эф.пулс}} = \sqrt{I_{a_0}^2 + I_{\text{эф}}^2} = \sqrt{2^2 + \left(\frac{2}{\sqrt{2}}\right)^2} = 2,45 \text{ ма.}$$

91. Какви напрежения ще задействуват: 1) волтмера за право напрежение и 2) волтмера за променливо напрежение, ако тези уреди се включат: а) към съпротивлението R_a ; б) към лампата (между анода и катода) и в) към батерията на усилвателя от задачи 88 и 89 (рис. 36, а).

Отговор. 1. Ако се включи волтмер за право напрежение, ще се измерят напреженията:

а) в съпротивлението R_a — напрежението $U_R = I_{a_0} \cdot R_a = 0,002 \cdot 25\,000 = 50 \text{ в.}$;

б) между анода и катода на лампата — напрежението $U_a = U_{\delta} - U_R = 200 - 50 = 150 \text{ в.}$ и

в) между полюсите на батерията — напрежението $U_{\delta} = 200 \text{ в.}$ (пренебрегва се загубата на напрежение вътре в батерията $I_{a_0} \cdot R_{\text{бат.}}$).

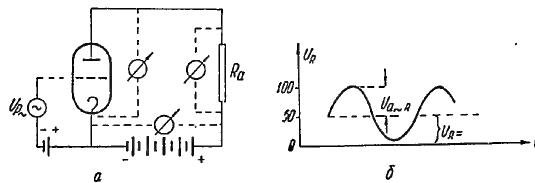


Рис. 35

2. С волтмер за променливо напрежение ще се измерят:

а) в съпротивлението R_a ефективната стойност на правото пулсиращо напрежение на рис. 36, б;

$$U_{\text{эф.пулс}} = \sqrt{U_R^2 + U_{a\text{эф}}^2} = \sqrt{50^2 + \left(\frac{50}{\sqrt{2}}\right)^2} = 61,2 \text{ в.};$$

б) между анода и катода на лампата

$$U_{a\text{эф}} = \sqrt{150^2 + \left(\frac{50}{\sqrt{2}}\right)^2} = 154,1 \text{ в.}$$

Между полюсите на батерията няма да действа променливо напрежение, защото двете променливи напрежения във външната (анодната) верига $U_{a\sim R}$ и $U_{a\sim}$ са равни по големина и противоположни по фаза (виж рис. 35, а и 36, б). Следователно и волтмерът за променливо напрежение ще бъде задействан от постоянното напрежение $U_{\delta} = 200 \text{ в.}$

92. Решетката на триода на рис. 37 е съединена с минус на отоплителния токоизточник (точка а) — протича аноден ток I_{a_0} . Как ще се измени анодният ток I_a , ако решетката, се съ-

едини с плюса на отоплителния токоизточник (точка 'б') или със средната точка на съпротивлението R ?

93. Към триелектродната лампа на рис. 38 са включени отоплителният акумулатор и анодната батерия. При допирането на кои проводници ще изгори отоплителната жичка на лампата, а кое допиране ще даде нахъсо анодната батерия?

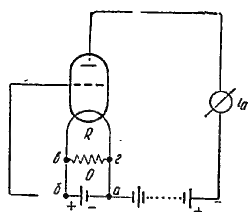


Рис. 37

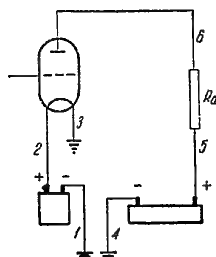


Рис. 38

94. На решетката на триода е подадено $U_{p\sim} = 5$ в, а в анодната верига се получава $U_{a\sim} = 37,5$ в. Лампата има $S = 4 \frac{ma}{в}$ и $\mu = 10$. Колко голямо е анодното съпротивление R_a ?

4. ТЕТРОД И ПЕНТОД

Емисионният ток в тетрода се изчислява с формулата

$$i_e = \kappa \sqrt{(e_p + D_1 e_{p_1} + D e_a)^2}, * \quad (68)$$

в която D_1 е проникваемостта през първата решетка, а D — общата проникваемост през първата и втората решетка. Със същата формула се изчислява приблизително и емисионният ток в пентода, като тук D е общата проникваемост (проникваемостта на анодното напрежение) през първата, втората и третата решетки. Общата проникваемост при тетрода нормално е незначителна — от порядъка на 0,002, а при пентода е още по-малка, примерно 0,001.

* Да се сравни с формула 58.

Поради незначителната стойност на D вътрешното съпротивление съгласно формула 61 е много голямо. Затова при значително изменение на анодното напрежение Δe_a анодният ток се изменя незначително (Δi_a е извънредно малко):

$$R_i = \frac{\Delta e_a}{\Delta i_a} = \frac{\text{значително напрежително нарастване}}{\text{нищожно аноднотоково нарастване}} = \text{много голямо}$$

вътрешно съпротивление.

Понеже R_i е извънредно голямо (особено при пентода), затова работният участък на анодната характеристика е полегат (участъкът а—б—в на характеристиката на рис. 39).

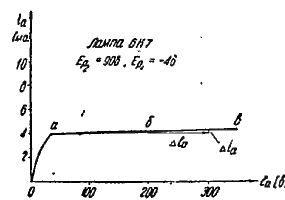


Рис. 39

Понеже товарното съпротивление R_a в сравнение с R_i е много по-малко (особено за пентода), то може да бъде пренебрегнато в знаменателя на формула 62, с която се определя коефициентът на усилването; при това условие споменатата формула добива следния вид:

$$K = \frac{1}{D} \frac{R_a}{R_i + R_a} = \frac{1}{D \cdot R_i} \cdot R_a = S R_a. \quad (69)$$

За тетрода и пентода са в сила всички формули от 61 до 67, важащи за триода.

Задачи

95. Да се определят параметрите R_i и D на пентода 6K7, чиято анодна характеристика за $E_{p_1} = -4$ в и $E_{p_2} = 90$ в е дадена на рис. 39. Средното анодно напрежение $E_{a_0} = 200$ в, а стръмнината на лампата е $S = 1,65$ ма.

Решение. При увеличаване на анодното напрежение от 200 на 300 в ($\Delta e_a = 100$ в) анодният ток нараства с $\Delta i_a = 0,16$ ма = 0,00016 а. Следователно

$$R_i = \frac{100}{0,00016} = 600\,000 \text{ ома} = 600 \text{ кома.}$$

$$\text{Проницаемостта } D = \frac{1}{R_i S} = \frac{1}{600\,000 \cdot 0,00165} = 0,001.$$

96. В анодната верига на пентода от задача 95 е включено товарно съпротивление $R_a = 100$ кома, а в решетъчната му верига е подадено променливо напрежение с амплитуда $U_{p\sim} = 0,5$ в. Да се определи променливото напрежение в R_a .

Решение. Съгласно формула 69

$$K = S \cdot R_a = 0,00165 \cdot 100\,000 = 165.$$

$$\text{Следователно } U_{a\sim} = K U_{p\sim} = 165 \cdot 0,5 = 82,5 \text{ в.}$$

97. Анодният ток на пентода от задача 95 съгласно характеристиката на рис. 39 е $i_a = 4$ ма. Той е създаден под въздействието на напреженията в първата и втората решетка и в анода. Какво е относителното влияние на тези електроди, ако проницаемостта $D_1 = 0,1$?

Решение. Относителното влияние на трите електрода се вижда от формула 68. Според тази формула за образуване на емисионния ток допринася не цялото анодно напрежение $E_a = 200$ в, а само незначителна част от него, а именно $DE_a = 0,001 \cdot 200 = 0,2$ в; напрежението E_p във втората решетка се проявява върху електронния поток в лампата със стойност $D_2 E_p = 0,1 \cdot 90 = 9$ в. Този резултат показва, че макар напрежението $E_p = 90$ в да е по-малко от $E_a = 200$ в, влиянието му върху емисионния ток е $\frac{9}{0,2} = 45$ пъти по-голямо от това на E_a . Напрежението $E_p = -4$ в противодейства с пълната си стойност $E_p = -4$ в.

98. В един мощен генераторен пентод токът в екраниращата решетка i_{p_2} и анодният ток i_a се изменят в зависимост от напрежението e_p на управляващата решетка съгласно характеристиките на рис. 40. За $E_{p_2} = -4$ в анодният ток е 88 ма, а токът $i_{p_2} = 20$ ма. Тези токове са получени при $E_a = 800$ в и $E_{p_2} = 200$ в. Кое напрежение трябва да бъде включено най-напред — E_{p_2} или E_a ?

Решение. Най-напред трябва да се включи напрежението E_a , а след това E_{p_2} . Ако включването на напреженията се извърши в обратна последователност, след включването на E_{p_2}

екраниращата решетка не поеме целия емисионен ток $i_e = i_a + i_{p_2} = 88 + 20 = 108$ ма — този силен ток може да нажежи недопустимо тънката жичка на решетката. Ако се включи най-напред анодното напрежение $E_a = 800$ в, преди да се подаде напрежението E_{p_2} , анодният ток е нищожен; едва след включване на E_{p_2} анодният ток става 88 ма.

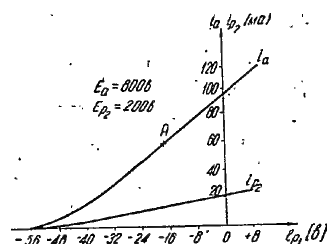


Рис. 40

99. Да се определи стръмнината на лампата, чиято характеристика на анодния ток е дадена на рис. 40; работната точка е А.

Д. РАДИОПРЕДАВАТЕЛИ

1. АВТОГЕНЕРАТОР

За да се самовъзбуди автогенераторът с индуктивна обратна връзка (рис. 41), е необходимо коефициентът на обратната връзка $K_{o.s} = \frac{U_{p\sim}}{U_{a\sim}}$ да бъде равен или по-голям от величината

$$D + \frac{1}{S \cdot Z_p}$$

$$\frac{M}{L_a} = K_{o.s} \geq D + \frac{1}{S \cdot Z_p} \quad (70)$$

В последната формула M е коефициентът на индуктивността между бобината за обратна връзка L_p и кръговата бобина L_a , а Z_p е резонансното съпротивление на третия кръг.

Когато кръгът е в решетъчната верига (рис. 41, б) условието за самовъзбуждане е

$$K_{o.s} \geq \frac{1}{S \cdot Z_p} \quad (70a)$$

При триточковата схема с автотрансформаторна обратна връзка (рис. 42) коефициентът $K_{o.s}$ се равнява на отноше-

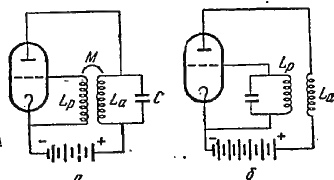


Рис. 41.

нието $\frac{w_p}{w_a}$, в което w_p е броят на навивките на решетъчната индуктивност L_p , а w_a — броят на анодната индуктивност L_a :

$$K_{o.s} = \frac{L_p}{L_a} = \frac{w_p}{w_a} \quad (71)$$

При триточковата схема с capacitивна обратна връзка (рис. 43) коефициентът

$$\tilde{K}_{o.s} = \frac{C_a}{C_p} \quad (72)$$

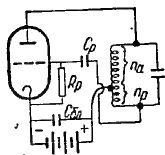


Рис. 42

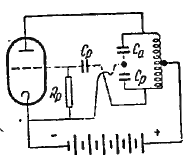


Рис. 43

Автогенераторът на рис. 41 работи при нулев потенциал на решетката си; затова при него се получава много силен решетъчен ток, който понижава стабилността на честотата. За да

се намали този ток, в решетъчната верига се включва групата гридлик, състояща се от високоомното отечно съпротивление R_p и кондензатора C_p (рис. 42, 43 и 44). В съпротивлението R_p се получава автоматично решетъчно преднапрежение

$$E_p = I_{p.c.} \cdot R_p, \quad (73)$$

което премества работната точка в долната част на характеристиката на генераторната лампа (точка А' на рис. 33, а).

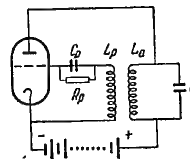


Рис. 44

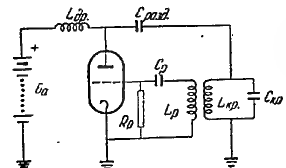


Рис. 45.

При схемата на рис. 44 съществува опасност от възникване на прекъсната генерация (самоимулация). За да не възникне това нежелано явление, елементите R_p и C_p не трябва да бъдат много големи. Условието за отсъствие на прекъсната генерация е

$$R_p C_p \leq \frac{2 L_{кр}}{R_{кр} (K - D) S Z_p - 1}, \quad (74)$$

където $L_{кр}$ е кръговата индуктивност, $R_{кр}$ — активното съпротивление на кръга, а Z_p — резонансното съпротивление на кръга.

При паралелната схема на захранване (рис. 45) е необходимо capacitивното съпротивление X_c на разделителния кондензатор $C_{разд}$ да бъде най-малко 20 пъти по-малко от Z_p на кръга, а индуктивното съпротивление X_L на дросела $L_{др}$ — най-малко 20 пъти по-голямо от Z_p :

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f C_{разд}} < \frac{Z_p}{20}; \quad (75)$$

$$X_L = 2 \pi f L_{др} > 20 Z_p. \quad (76)$$

Задачи

100. Радиолубител си строи автогенератор с триелектродна лампа, имаща характеристиките на рис. 33, а и 33, б (задача 82), по трансформаторната схема на рис. 41. Автогенераторът трябва да произвежда вълна в разрешения любителски обхват $\lambda = 42,86 \text{ м} \div 41,96 \text{ м}$; използва се трептящият кръг от задача 10 при активно съпротивление на същия $R = 6 \text{ ома}$. Колко големи трябва да бъдат: коефициентът K , коефициентът M , бобината за обратна връзка L_p , за да се самовъзбуди автогенераторът, ако решетъчното преднапрежение е $E_p = -5 \text{ в}$?

Решение. За да определим големината на K съгласно формула 70, необходимо е да се изчисли резонансното съпротивление на кръга:

$$Z_p = \frac{L_a}{RC} = \frac{0,00001}{6 \cdot 0,0000000000518} = 32\,260 \text{ ома} = 32,26 \text{ кома.}$$

При $S = 3 \frac{\text{ма}}{\text{в}}$ и $D = 0,067$ коефициентът

$$K_{o.a} = D + \frac{1}{S \cdot Z_p} = 0,067 + \frac{1}{0,003 \cdot 32\,260} = 0,08.$$

Коефициентът на взаимоиндуктивност M съгласно формула 70 е

$$M = K_{o.a} \cdot L_a = 0,08 \cdot 10 = 0,8 \text{ мкхн.}$$

Индуктивността за обратна връзка може да бъде произволно голяма — при голяма стойност тя е по-далеч от кръговата бобина, ако има по-малка стойност, разполага се по-близо до L_a .

Съгласно задача 11 кръговата бобина трябва да има 44 навивки.

Получените данни се отнасят за по-дългата вълна на любителския обхват $42,86 \div 41,96 \text{ м}$, а именно за вълната $\lambda_{\text{макс}} = 42,86 \text{ м}$. Нека да проверим, дали автогенераторът при обратната връзка $K_{o.a} = 0,08$ ще се самовъзбуди за най-късата вълна $\lambda_{\text{мин}} = 41,96 \text{ м}$.

Съгласно уравнение 8 кондензаторът C за по-късата вълна ще бъде по-малък:

$$C_{np} = \frac{\lambda^2}{1,884^2 L} = \frac{41,96^2}{1,884^2 \cdot 10} = 49,8 \text{ нф.}$$

По-малкият кондензатор C_{np} съгласно формулата $Z_p = \frac{L}{RC}$ обуславя по-голямо резонансно съпротивление Z_p на кръга; по-го-

лямото съпротивление Z_p пък съгласно формула 70 изисква по-малък коефициент на обратната връзка. Следователно автогенераторът ще се самовъзбуди и за най-късата вълна $\lambda_{\text{мин}} = 41,96 \text{ м}$.

101. Автогенераторът от задача 100 се конструира с обратна връзка $K_{o.a}$, по-голяма от 0,08, вследствие на което се установява решетъчно променливо напрежение с амплитуда $U_{p.m} = 13 \text{ в}$ при старото решетъчно преднапрежение $E_p = -5 \text{ в}$ (рис. 46). Работната точка, както се вижда от последната ри-

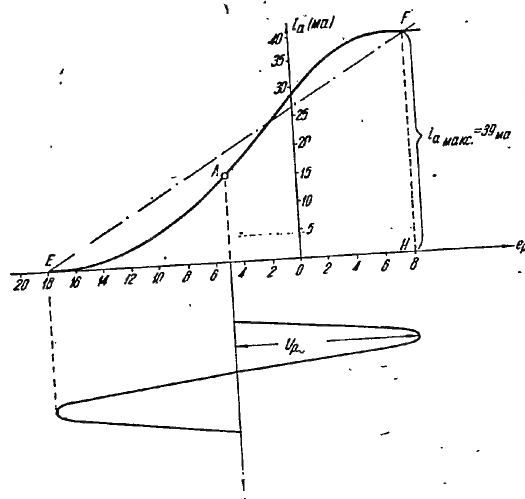


Рис. 46

сунка, играе по динамичната характеристика $E-A-F$, чиято средна стръмнина S_{cp} е по-малка от стръмнината $S = 3 \frac{\text{ма}}{\text{в}}$ в близката околност на изходната работна точка А. Да се определи амплитудата на анодното променливо напрежение $U_{a.m}$ на автогенератора.

Решение. Напрежението $U_{a\sim}$ е равно на произведението от $U_{p\sim}$ и коефициента на усилването K_{yc} на генераторната лампа. Този коефициент е реципрочен на коефициента на обратната връзка $K_{o.s.}$. Последният е по-голям от 0,08 (това се установи в предната задача); неговата точна големина може да се определи с формула 70, в която вместо $S = 3 \frac{ma}{s}$ се постави стойността на средната стръмина S_{cp} . Тази стръмина може да бъде определена приблизително от триъгълника EFH на рис. 46 като отношение между $i_{a, макс} = 39 \text{ ма}$ и пълното изменение на решетъчното напрежение $\Delta U_p = 8 - (-18) = 26 \text{ в}$

$$S_{cp} = \frac{i_{a, макс}}{\Delta U_p} = \frac{39}{26} = 1,5 \frac{ma}{s}.$$

Следователно

$$K_{o.s.} = D + \frac{1}{S_{cp} \cdot Z_p} = 0,067 + \frac{1}{0,0015 \cdot 32 \cdot 260} = 0,088.$$

Коефициентът на усилване

$$K_{yc} = \frac{1}{K_{o.s.}} = \frac{1}{0,088} = 12.$$

От уравнението $K_{o.s.} = \frac{U_{p\sim}}{U_{a\sim}}$ намираме

$$U_{a\sim} = \frac{U_{p\sim}}{K_{o.s.}} = U_{p\sim} \cdot K_{yc} = U_{p\sim} \cdot 12 = 13,12 = 156 \text{ в}.$$

102. Радиолюбителят желае неговият автогенератор да работи освен в обхвата $42,86 \text{ м} \div 41,96 \text{ м}$ и в обхвата с двойно по-дълга вълна, а именно: $\lambda = 85,71 \div 78,95 \text{ м}$. Съгласно формула 8 той постига удвояването на вълната с четири пъти по-голям капацитет $C = 4$. $51,8 = 207,2 \text{ пф}$. Ще се самовъзбуди ли автогенераторът при $K_{o.s.} = 0,08$ и ако не се възбуди, каква трябва да бъде минималната обратна връзка?

Решение. Поради увеличаването на кръговия капацитет $S_{кр}$ резонансното съпротивление на кръга при запазване на същата стойност на активното съпротивление $R = 6 \text{ ома}$ ще се понижи 4 пъти:

$$Z_p = \frac{L}{R \cdot 4C} = \frac{32 \cdot 260}{4} = 8065 \text{ ома}.$$

Съгласно формула 70 минималният коефициент на обратната връзка трябва да се увеличи, а именно:

$$K_{o.s. мин} = 0,067 + \frac{1}{0,003 \cdot 8065} = 0,11.$$

Следователно при старата обратна връзка $K_{o.s.} = 0,08$ автогенераторът няма да се самовъзбуди; необходимо е следователно да се увеличат навивките на решетъчната бобина или същата да се доближи до кръговата.

Понеже при минималната степен на обратната връзка $K_{o.s.} = 0,11$ се получава много малка амплитуда на автотрепнението, затоа при конструирането на автогенератора се взема примерно $K_{o.s.} = 0,2$. На получената се по-голяма амплитуда $U_{p\sim}$ съгласно рис. 46 съответствува средна стръмина S_{cp} , по-малка от $3 \frac{ma}{s}$. Стойността ѝ се определя с формула 70

$$K_{o.s.} = 0,2 = 0,067 + \frac{1}{S_{cp} \cdot 8065},$$

отгдето

$$S_{cp} = \frac{1}{(0,2 - 0,067) \cdot 8065} = 0,001 \frac{a}{s} = 1 \frac{ma}{s}.$$

103. Автогенераторът от задача 102 да се преконструира в триточков по автотрансформаторната схема на рис. 42. Коя навивка трябва да се свърже с катода?

Решение. Съгласно задачи 11 и 100 кръговата бобина има 44 навивки; тези навивки се разпределят на w_p за решетъчната индуктивност L_p и w_a за анодната индуктивност L_a :

$$w = w_p + w_a = 44. \quad (77)$$

Съгласно формула 71

$$K_{o.s.} = 0,2 = \frac{w_p}{w_a}.$$

От последното уравнение намираме, че $w_p = 0,2 w_a$. Тази стойност на w_p се поставя в уравнение 77:

$$0,2 w_a + w_a = 44 \text{ или } 1,2 w_a = 44,$$

отгдето

$$w_a = \frac{44}{1,2} = 36,6 \text{ или закръглено } w_a = 36 \text{ навивки}.$$

Решетъчната индуктивност очевидно ще има $w_p = 44 - 36 = 8$ навивки.

Следователно средната точка между навивки 8-ма и 9-та трябва да се свърже с катода.

104. Автогенераторът от задача 102 да се преконструира като триточков с капацитивна обратна връзка при постоянен коефициент на обратната връзка $K_{o.s.} = 0,2$ за целия обхват $\lambda = 85,71 \div 78,95 \text{ м}$.

Решение. За да се запази коефициентът $K_{0.2}$ неизменен за целия обхват, кръговият капацитет $C_{кр}$ се разделява на последователно включените помежду си постоянни капацитети C_a и C_p и на паралелния към тях променлив капацитет за настройка $C_{настр}$ (рис. 47).

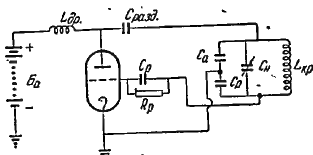


Рис. 47

Съгласно формула 72 отношението между C_a и C_p е

$$K_{0.2} = 0.2 = \frac{C_a}{C_p}, \text{ отгдето } C_a = 0.2 C_p.$$

Приемаме, че капацитетът на кондензатора за настройка при затворен ротор заедно с монтажните и паразитни капацитети е 107,2 пф. Понеже общият кръгов капацитет съгласно условията на задача 102 е $C_{кр} = 207,2$ пф, следва, че капацитетът на паралелния клон $C_p - C_a$ трябва да бъде

$$\frac{C_a \cdot C_p}{C_a + C_p} = 207,2 - 107,2 = 100 \text{ пф.}$$

В последното уравнение замества C_a с равностойността му $0,2 C_p$ и получаваме

$$\frac{0,2 C_p \cdot C_p}{0,2 C_p + C_p} = \frac{0,2 C_p}{1,2} = 100,$$

отгдето

$$C_p = 600 \text{ пф и } C_a = 0,2 \cdot 600 = 120 \text{ пф.}$$

105. Радиолюбителят си строи автогенератор с автоматично преднапрежение според рис. 44. С лампов волтмер той измерва в двата края на R_p постоянното напрежение 5 в. Какъв постоянен решетъчен ток протича през съпротивлението R_p , ако то е равно на 50 кома.

Решение. Съгласно уравнение 73 правотоковата съставна на решетъчния ток

$$I_p = \frac{E_p}{R_p} = \frac{5}{50000} = 0,0001 \text{ а} = 0,1 \text{ ма} = 100 \text{ мка.}$$

106. Автогенераторът от задача 101 да се изпълни с група гридлик с $R_p = 50000$ ома и да се определи каква може да бъде максималната стойност на капацитета C_p .

Решение. От уравнение 74 намираме максималната стойност на C_p .

$$C_p < \frac{1}{R_p} \frac{2L}{R_p (K-D)SZ_p - 1} = \frac{1}{50000} \cdot \frac{2 \cdot 0,00001}{6 \cdot (0,088 - 0,067) \cdot 0,0015 \cdot 32260 - 1} = 0,0000000074 \text{ ф} = 7400 \text{ пф.}$$

107. Автогенераторът от задача 102 да се изпълни с паралелно захранване съгласно схемата на рис. 45. Да се определят $C_{разд}$ и $L_{др}$.

Решение. Резонансното съпротивление на кръга на автогенератора от задача 102 е $Z_p = 8,065$ ома. Съгласно формула 75

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C_{разд}} < \frac{1}{20} 8065 = 403 \text{ ома.}$$

Следователно

$$C_{разд} > \frac{1}{403 \cdot 6,28 \cdot 3500000} = 0,00000000112 \text{ ф} = 112 \text{ пф.}$$

Съгласно формула 76

$$2\pi f L_{др} > 20 \cdot 8065, \text{ отгдето}$$

$$L_{др} > \frac{20 \cdot 8065}{6,28 \cdot 3500000} = 0,0073 \text{ хн} = 7,3 \text{ мхн.}$$

108. Да се определи минималната обратна връзка $K_{0.2}$ на автогенератор, изпълнен по схемата на рис. 41 и работещ на вълна $\lambda = 20$ м. Кръгът има капацитет $C = 30$ пф и активно съпротивление $R = 5$ ома; статичната стръмнина на генераторната лампа е $S = 4 \frac{\text{ма}}{\text{в}}$, а проникваемостта ѝ е $D = 4\% = 0,04$.

109. Съгласно задача 105 автоматичното преднапрежение $E_p = -5$ в се измерва с лампов волтмер, имащ вътрешно съпротивление примерно 4000000 ома. Какъв резултат ще се получи, ако вместо ламповият волтмер се употреби обикновен волтмер с вътрешно съпротивление 2000 ома?

110. Какво ще бъде последствието от откъчването на съпротивлението $R_p = 50$ кома от задача 105?

111. Какво изменение ще настъпи в работата на автогенератора на рис. 44, ако съпротивлението R_p се даде накъсо?

112. В ултракъсовълновия автогенератор на рис. 48, а са използвани вътрешните капацитети на лампата $C_{ap}=5$ пф, $C_{ak}=2$ пф и $C_{pk}=3$ пф, а за индуктивност — проводникът, съединяващ външно анода с решетката (разделителният кондензатор $C_{pдз}$ за високата честота представлява късо съединение). Каква е индуктивността на съединителния проводник $a-p$, ако автогенераторът произвежда вълна $\lambda=1$ м? Да се определи и коефициентът на обратната връзка $K_{o.s.}$.

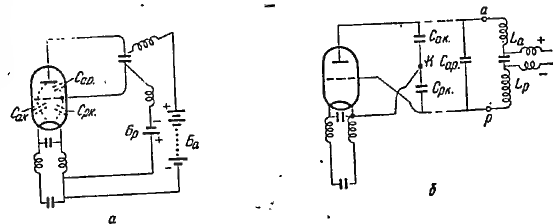


Рис. 48

Решение. От еквивалентната схема (рис. 48, б) се вижда че кръговият капацитет е

$$C_{кр} = C_{ap} + \frac{C_{ak} \cdot C_{pk}}{C_{ak} + C_{pk}} = 5 + \frac{2 \cdot 3}{2 + 3} = 6,2 \text{ пф.}$$

Съгласно формула 34

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{300\,000\,000}{1} = 300\,000\,000 \text{ хц} = 300 \text{ мгх.}$$

Стойността на L се определя с формула 1, като същата се повдигне в квадрат:

$$f^2 = 300\,000\,000^2 = \frac{1}{6,28^2 \cdot 0,000000000062L},$$

отгдето

$$L = 0,0000001 \text{ хн} = 0,1 \text{ мкхн.}$$

Коефициентът $K_{o.s.}$ съгласно рис. 48, б е

$$K_{o.s.} = \frac{C_{ak}}{C_{pk}} = \frac{2}{3} = 0,66.$$

2. УСИЛВАТЕЛ

Назначението на високочестотния усилвател в предавателя е да произведе в анодния си третия кръг LC (рис. 49) високочестотна електрическа мощност

$$P_{\sim} = \frac{1}{2} I_{kp}^2 R. \quad (78)$$

В горната формула I_{kp} е амплитудата на кръгов ток, а R е активното съпротивление на кръга.

Същата мощност може да се определи и с формулата

$$P_{\sim} = \frac{1}{2} I_{a1} U_{a\sim}, \quad (78a)$$

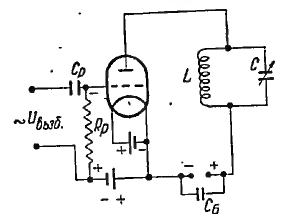


Рис. 49

в която $U_{a\sim}$ е амплитудата на променливото анодно напрежение, а I_{a1} — амплитудата на основната хармонична съставна на анодния ток, който нормално протича във вид на периодични импулси (рис. 50). Възможно е усилвателите в предавателите

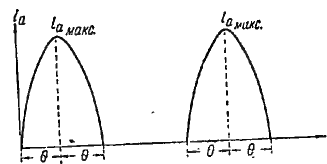


Рис. 50

да работят при режим, при който времетраенето 2θ на анодните импулси е равно на паузите, както е показано и на рис. 50. Такъв режим се получава при усилване клас В, при който изходната работна точка А се намира в началото на характеристиката на анодния ток (рис. 51). От същата рисунка се вижда, че за да се получи максимален анодоток импулс, е необходимо за максималната стойност на положителния полу-

период на променливото решетъчно напрежение да се достигне токът на насищане $i_{a \max}$. Необходимото възбудително напрежение $U_{p \sim}$ при усиление клас В за получаване на токови импулси с върхова стойност $i_{a \max}$ при определена стръмнина S и проникваемост D на генераторната лампа за триоден усилвател се определя с формулата

$$U_{p \sim} = \frac{i_{a \max}}{S} + D U_{a \sim} \quad (79)$$

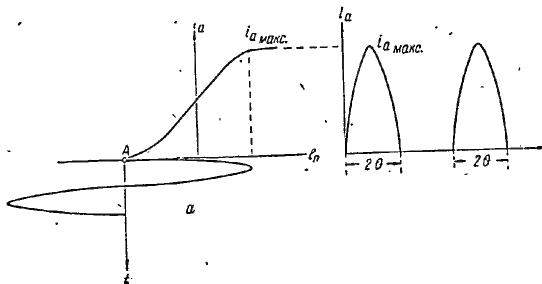


Рис. 51

За пентоден и тетроден усилвател същата формула се опростява:

$$U_{p \sim} = \frac{i_{a \max}}{S} \quad (80)$$

Амплитудата I_{a_1} на основната хармонична на анодния ток за усиления клас В се равнява точно на половината от максималната стойност на анодотокския импулс:

$$I_{a_1} = \frac{i_{a \max}}{2} \quad (81)$$

Анодното променливо напрежение има амплитуда $U_{a \sim}$, която е от порядъка на постоянното напрежение U_0 на анодния токоизточник. Моментното анодно напрежение се равнява на алгебричния сбор от $U_{a \sim} \sin \omega t$ и U_0 :

$$u_a = U_0 + U_{a \sim} \sin \omega t \quad (82)$$

Горната зависимост е изразена и на рис. 52. На същата е дадена и синусоидата на променливото решетъчно напрежение U_p , чиято максимална стойност е по-малка от минималната на анодното напрежение. Ако $U_{a \min} = (1.5 \div 2) U_{p \max}$, усилвателят работи в критичен режим и тогава той отдава най-голяма променливотокова мощност в анодния кръг — това е за триоден усилвател. За тетродния и пентоден усилвател $U_{p \max}$ трябва да бъде по-малко от E_p (постоянното напрежение на втората решетка).

При пренапрежен режим напрежението $U_{p \max}$ става по-голямо от $U_{a \min}$, вследствие на което протича силен решетъчен ток, а импулсът на анодния ток е с вдлъбнатина на върха (рис. 53). При нена-

Рис. 52

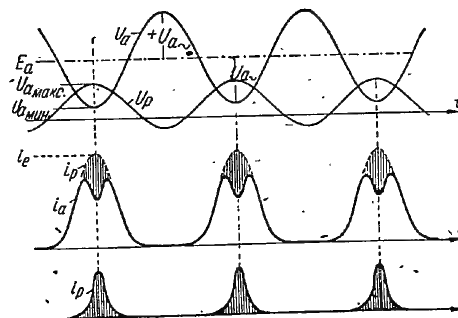


Рис. 53

прежен режим $U_{a \min}$ е много по-голямо от $U_{p \max}$, поради което решетъчният ток е незначителен.

Колебателната мощност, произведена в анодния трептящ кръг, се отдава на антената на предавателя. На рис. 54 свързката между кръга и антената е индуктивна. Кръговият ток $I_{кр}$ индутира в антената електродвижещата сила

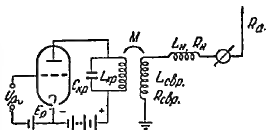


Рис. 54

$$E_{\sim} = \omega M I_{кр} = 2\pi f M I_{кр}, \quad (83)$$

която прокачва в настроената антенна верига антенен ток

$$I_A = \frac{E}{R_{свп} + R_H + R_A}. \quad (84)$$

В последната формула $R_{свп}$ е активното съпротивление на бобината за свързка $L_{свп}$, R_H — същото съпротивление на вариометъра за настройка L_H , а R_A — активното съпротивление на антената.

Антенният ток от своя страна въздейства обратно върху трептящия кръг и индутира в него противоелектродвижеща сила. Влиянието на тази противоелектродвижеща е равностойна на внесено активное съпротивление

$$\Delta R = \frac{\omega^2 M^2}{R_{свп} + R_H + R_A}. \quad (85)$$

С увеличаване на внесено съпротивление ΔR расте и коефициентът на полезно действие съгласно зависимостта

$$\eta = \frac{\Delta R}{\Delta R + R_{кр}}. \quad (86)$$

Коефициентът на полезно действие на антенната верига е

$$\eta_A = \frac{R_A}{R_{свп} + R_H + R_A}. \quad (86a)$$

Под влияние на внесено съпротивление ΔR кръговият ток съгласно уравнение 26 се намалява. Под влияние на същото съпротивление се намалява и резонансният импеданс Z_p (еквивалентното съпротивление $R_{екв}$) на анодния трептящ кръг съгласно формулата

$$R_{екв} = \frac{L}{(K_{кр} + \Delta R)C}. \quad (87)$$

За да произведе усилвателят (генераторът с независимо възбуждане) максимална колебателна мощност, необходимо е за намаленото резонансно съпротивление от формула 87 той да работи в критичен режим.

Задачи

113. Напрежението на анодния токоизточник на височестотния усилвател на един радиопредавател е $E_a = 200$ в. Общото активно съпротивление (собствено $R_{кр}$ и внесено ΔR) на кръга е $R_{общ} = 30$ ома. Радиолюбителят измерва с термоелектрически милиампермер, кръгов ток с ефективна стойност $I_{крэф} = 200$ ма, а с магнитноелектрически милиампермер за постоянен ток — правотокова съставна на анодния ток $I_{a\sim} = 10$ ма. Да се определи, каква правотокова мощност изразходва токоизточникът и каква променливотокова мощност се получава в кръга на усилвателя. Какъв е коефициентът на полезно действие на анодната верига на същия?

Решение. Съгласно формула 65 правотоковата мощност е

$$P_{\sim} = I_{a\sim} E_a = 0,01 : 200 = 2 \text{ вт.}$$

Променливотоковата мощност в кръга съгласно уравнение 78 е

$$P_{\sim} = \frac{1}{2} I_{кр} \cdot R_{общ} = I_{крэф}^2 \cdot R_{общ} = 0,2^2 \cdot 30 = 1,2 \text{ вт.}$$

Коефициентът на полезно действие съгласно формула 66 е

$$\eta = \frac{P_{\sim}}{P_{\sim}} = \frac{1,2}{2} = 0,6 = 60\%.$$

114. Кръгът на усилвателя от задача 113 има индуктивност $L = 40$ мкхн = 0,00004 хн и капацитет $C = 100$ пф. Колко голяма е амплитудата I_a на основната хармонична съставна на анодния ток и амплитудата на анодното променливо напрежение $U_{a\sim}$?

Решение. Понеже трептящият кръг в анодната верига на усилвателя на рис. 49 представлява паралелен трептящ кръг, кръговият му ток $I_{кр}$ съгласно формула 22 е Q пъти по-голям от външния (анодния) ток I_a . Следователно амплитудата I_a на този ток

$$I_a = \frac{I_{кр}}{Q}.$$

Качественият фактор съгласно формула 6

$$Q = \frac{\omega L}{R_{общ}} = \frac{2\pi f L}{R_{общ}}.$$

Честотата на възбуждащото напрежение, на която е настроен кръгът, е

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{6,28\sqrt{0,00004 \cdot 0,000000001}} = 2\,500\,000 \text{ хц} = 2,5 \text{ мгхц.}$$

$$Q = \frac{2\pi f L}{R_{\text{обц}}} = \frac{6,28 \cdot 2\,500\,000 \cdot 0,00004}{30} = 21.$$

С термоелектрическият милиампермер е измерена ефективната стойност на кръговия ток; амплитудата на този ток следователно е

$$I_{kr} = I_{kr \text{ еф}} \cdot 1,41 = 200 \cdot 1,41 = 282 \text{ ма} = 0,282 \text{ а.}$$

Амплитудата I_a , на основната хармонична на анодния ток е

$$I_a = \frac{I_{kr}}{Q} = \frac{282}{21} = 13,4 \text{ ма.}$$

Амплитудата на анодното променливо напрежение се равнява на произведението от кръговия ток и индуктивното съпротивление на кръга:

$$U_{a\sim} = I_{kr} \cdot 2\pi f L = 0,282 \cdot 6,28 \cdot 2\,500\,000 \cdot 0,00004 = 177 \text{ в.}$$

Ако се направи проверка на получената в задачата 113 променливотокова мощност $P_{\sim} = 1,2 \text{ вт}$ с формула 78, се вижда, че и двете формули 78 и 78а дават все един и същ резултат:

$$1,2 = \frac{1}{2} I_a U_{a\sim} = 0,5 \cdot 0,0134 \cdot 177.$$

115. Усилвателят от задачи 113 и 114 се изключва и по експериментален път се измерва, че собственото активно съпротивление на кръга е $R_{kr} = 6 \text{ ома}$. При какъв коефициент на полезно действие е работил кръгът на усилвателя?

Решение. Понеже общото активно съпротивление (собственото и внесеното) е 30 ома , следва, че само внесеното съпротивление $\Delta R = 30 - 6 = 24 \text{ ома}$. Изчислената променливотокова мощност $P_{\sim} = 1,2 \text{ вт}$ се разпределя пропорционално между $R_{kr} = 6 \text{ ома}$ и $\Delta R = 24 \text{ ома}$ съгласно формулата

$$P_{\sim} = \frac{1}{2} I_{kr}^2 R_{\text{обц}} = \frac{1}{2} I_{kr}^2 (R_{kr} + \Delta R) = 0,24 + 0,96.$$

Следователно в загубното съпротивление на кръга се изразходва във вид на топлина мощността $0,24 \text{ вт}$, а в антенната верига се предава $0,96 \text{ вата}$.

Коефициентът на полезно действие на анодния кръг съгласно формула 86 е

$$\eta = \frac{\Delta R}{\Delta R + R_{kr}} = \frac{24}{30} = 0,8 = 80\%.$$

116. Каква електродвижеща сила индутира в антенната верига кръговият ток I_{kr} и колко голямо е общото активно съпротивление на антенната верига, ако коефициентът на взаимноиндуктивността между бобината за свързка $L_{свр}$ и кръговата бобина е $M = 2 \text{ мкхн}$?

Решение. Съгласно формула 83 индутираната е. д. с. се равнява на произведението от I_{kr} и така нареченото съпротивление на свързката, стойността на което в дадения случай е

$$X_{свр} = \omega M = 2\pi f M = 6,28 \cdot 2\,500\,000 \cdot 0,000002 = 31,4 \text{ ома.}$$

Следователно

$$E_{\sim} = I_{kr} \cdot X_{свр} = 0,282 \cdot 31,4 = 8,87 \text{ в (ефективна стойност).}$$

Общото активно съпротивление в антенната верига е $R_{свр} + R_H + R_A$. Неговата стойност ще се определи с формула 85, в която за ΔR ще вземем стойност 24 ома , а за ωM — стойността $31,4 \text{ ома}$:

$$R_{свр} + R_H + R_A = \frac{(\omega M)^2}{\Delta R} = \frac{31,4^2}{24} = 41 \text{ ома.}$$

117. Какъв ток протича през основанието на антената (когато същата е заземена) и колко голяма е излъчената мощност $P_{изл}$ и коефициентът на полезно действие на антенната верига, ако излъчителното съпротивление на антената $R_A = 10 \text{ ома}$.
Решение. Съгласно формула 84

$$I_A = \frac{E_{\sim}}{R_{свр} + R_H + R_A} = \frac{8,87}{41} = 0,15 \text{ а} = 150 \text{ ма.}$$

Антената излъчва мощност $P_{изл} = I_A^2 R_A = 0,15^2 \cdot 10 = 0,225 \text{ вт} = 225 \text{ мвт.}$

Коефициентът на полезно действие на антенната верига съгласно уравнение 86 а е

$$\eta = \frac{R_A}{R_{свр} + R_H + R_A} = \frac{10}{41} = 0,24 = 24\%.$$

Последният резултат показва, че от подадената в антенната верига променливотокова мощност $0,96 \text{ вт}$ се излъчват само $0,96 \cdot 0,24 = 0,23 \text{ вт}$. Тази мощност в сравнение с изразходваната от анодната батерия правотокова мощност $P_{\sim} = 2 \text{ вт}$ съставлява

$$\frac{0,23}{2} = 0,115 \text{ част или } 11,5\%.$$

118. Усилвателят от задача 113 е работил, в клас В и е бил конструиран с пентод, имащ стръмнина $S = 4 \frac{\text{мА}}{\text{в}}$. Колко голяма е върховата стойност на аноднотоките импулси $i_{a \text{ макс}}$ и амплитудата $U_{p \sim}$ на възбуждащото напрежение?

Решение. Съгласно формула 81, максималната стойност $I_{a \text{ макс}}$ на аноднотоките импулси е два пъти по-голяма от амплитудата на основната хармонична съставка на анодния ток; в задача 114 се установи, че $I_{a1} = 13,3 \text{ ма}$. Следователно

$$i_{a \text{ макс}} = 2 I_{a1} = 2 \cdot 13,3 = 26,6 \text{ ма}.$$

Съгласно формула 80 необходимото възбуждащо напрежение има амплитуда

$$U_{p \sim} = \frac{i_{a \text{ макс}}}{S} = \frac{0,0266}{0,004} = 6,65 \text{ в}.$$

119. Колко голямо трябва да бъде възбуждащото напрежение, ако за усилвателна лампа се употреби триод с прониктаемост, първо, $D_1 = 0,1 = 10\%$ и, второ, $D_2 = 0,03 = 3\%$.

Решение. Съгласно формула 79 за триоден усилвател възбуждащото напрежение трябва да се увеличи още с $DU_{a \sim}$. От задача 114 е известно, че $U_{a \sim} = 177 \text{ в}$. Следователно за $D_1 = 0,1$

$$U_{p \sim} = \frac{i_{a \text{ макс}}}{S} + D_1 U_{a \sim} = 6,65 + 0,1 \cdot 177 = 24,35 \text{ в},$$

а за триода с по-малката прониктаемост $D_2 = 0,03$ е необходимо по-малко възбуждащо напрежение

$$U_{p \sim} = 6,65 + 0,03 \cdot 177 = 6,65 + 5,31 = 11,96 \text{ в}.$$

Получените резултати показват, че за да се понижи възбуждащото напрежение $U_{p \sim}$, за усилвателни лампи трябва да се предпочитат лампи с по-малка прониктаемост.

120. Колко голямо е минималното анодно напрежение $U_{a \text{ мин}}$ и максималното решетъчно $U_{p \text{ макс}}$, ако усилвателят е изпъднен с посочения в предната задача триод $D = 0,1$. В какъв режим работи лампата?

Решение. На рис. 52 се вижда, че минималното анодно напрежение, което се получава за отрицателния минимум на променливото анодно напрежение, е равно на разликата от E_a и $U_{a \sim}$:

$$U_{a \text{ мин}} = E_a - U_{a \sim} = 200 - 177 = 23 \text{ в}.$$

Максималното решетъчно напрежение $U_{p \text{ макс}}$ се равнява на сбора на решетъчното преднапрежение E_p (взето с отрицателен знак) и амплитудата $U_{p \sim} = 24,35 \text{ в}$. При усиление клас В работната точка се намира в началото на характеристиката на анодния ток; тук анодният ток очевидно е 0. Съгласно уравнение 58 анодният ток зависи както от решетъчното напрежение e_p , така и от анодното напрежение e_a . Съгласно същото уравнение, за да се анулира токът i_a , необходимо е формулата в подкоренната величина $e_p + De_a$ да стане нула

$$e_p + De_a = 0,$$

отдето отрицателното напрежение, за което токът i_a става нула, е

$$e_p = -De_a.$$

В конкретния случай (усиление клас В) напрежението e_p е и преднапрежение E_p , а e_a се равнява на батерийното напрежение E_a .

Следователно

$$E_p = -DE_a = -0,1 \cdot 200 = -20 \text{ в};$$

$$U_{p \text{ макс}} = E_p + U_{p \sim} = -20 + 24,35 = +4,35 \text{ в}.$$

Понеже минималното, анодно напрежение $U_{a \text{ мин}} = +23 \text{ в}$ е повече от 5 пъти по-голямо от $U_{p \text{ макс}} = +4,35 \text{ в}$, следва, че усилвателят работи в ненапрегнат режим.

121. Да се определи импедансът Z_p на анодния трептищ кръг ($L = 40 \text{ мкХн}$, $C = 100 \text{ пф}$) на усилвателя от задачи 113, 114 и 115, първо, при наличност на настроена антена, свързана с кръга на усилвателя, и, второ, когато усилвателят работи напразно (не отдава мощност в антената), сиреч когато антената е откачена.

122. Да се определи, каква мощност се изразходва за захранване на анода на усилвателната лампа в задача 113

123. Мощно усилвателно стъпало отдава в антенната верига мощност $P_{\sim} = 40 \text{ вт}$ при коефициент на полезно действие на кръга $\eta = 0,8$. Колко голямо е собственото активно (загубно)

съпротивление на кръга и внесеното ΔR в него, ако кръговият ток има ефективна стойност $I_{кр.эф.} = 1,5$ а?

124. Как се изменя кръговият ток в предшествуващите задачи, ако антената се разстрои?

Упътване. При разстройване на антената внесеното съпротивление в кръга става по-малко.

125. Как ще се измени правотоковата и променливотоковата мощност в предшествуващите задачи, ако се увеличи (в отрицателна посока) решетъчното преднапрежение?

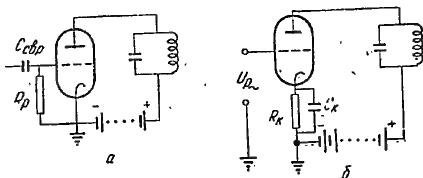


Рис. 55

126. а) Какво решетъчно отечно съпротивление R_p (рис. 55, а) е необходимо в задача 120, ако правотоковата съставна на решетъчния ток е $I_p = 1$ ма? б) Ако решетъчното преднапрежение $E_p = -20$ в се получава с групата $R_k C_k$ (рис. 55, б), колко голямо трябва да бъде катодното съпротивление R_k при $I_a = 10$ ма?

Упътване. Да се изходи от формулата $E_p = I_a R_k$, защото решетъчното преднапрежение представлява падение на напрежение в R_k .

3. СТАБИЛИЗИРАНЕ НА ЧЕСТОТАТА

Честотата на радиопредавателя не остава абсолютно постоянна във времето, а поради редица причини се изменя; изменението Δf се нарича абсолютна нестабилност на честотата, а отношението $\frac{\Delta f}{f}$ — относителна нестабилност на честотата.

Най-честата причина за изменение на честотата е промяната на капацитета C и на индуктивността L на трептящия кръг на автогенератора поради изменение на температурата; ако при

пускане в действие на радиопредавателя капацитетът на кръга е C_0 , след известно време, той (капацитетът) може да се измени и да стане $C = C_0 + \Delta C$; индуктивността може да се измени от стойност L_0 до стойността $L = L_0 + \Delta L$.

Абсолютното изменение ΔC на капацитета се определя с формулата

$$\Delta C = \alpha_c \cdot \Delta t \cdot C,$$

където α_c е температурният коефициент на капацитета, а Δt — изменението на температурата.

Абсолютното изменение ΔL на индуктивността се определя с аналогична формула:

$$\Delta L = \alpha_L \cdot \Delta t \cdot L$$

(α_L е температурният коефициент на индуктивността).

Температурният коефициент на честотата се определя с формулата

$$\alpha_f = \frac{1}{2} (\alpha_c + \alpha_L).$$

Задачи

127. Носещата честота на любителски радиопредавател е $f_0 = 3750$ кч. След пускане в действие на радиопредавателя в първите 20 минути честотата се изменя с $\Delta f = 180$ хч. Каква е относителната нестабилност на честотата на предавателя? Решение. Относителната нестабилност на предавателя е

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{180}{3750000} = 0,00005 = 0,005 \text{ } \%$$

128. С колко херца се изменя честотата на един радиопредавател, работещ на вълна $\lambda = 42$ м, ако относителната нестабилност $\frac{\Delta f}{f} = 0,00001 = 0,001 \text{ } \%$?

Решение. Абсолютното изменение на честотата Δf се определя от формулата

$$\frac{\Delta f}{f} = 0,00001,$$

отгдето

$$\Delta f = 0,00001 \cdot f = 0,00001 \cdot \frac{c}{\lambda} = 0,00001 \cdot \frac{300000000}{42} = 71,4 \approx 71 \text{ хч.}$$

129. Радиопредавател работи на честота $f = 14000$ кч. Вследствие изменение температурата на въздуха и спадането на напрежението на захранващите токоизточници честотата му

пораства на 14001 кхц. Каква е абсолютната и относителната нестабилност на честотата му?

13). Честотата $f = 14000$ кхц от предшествувашата задача е получена с трептящ кръг, имащ капацитет $C = 20$ пф и индуктивност $L = 6,4$ мкхн. Температурният коефициент на капацитета $\alpha_c = 0,0001$, а температурният коефициент на индуктивността $\alpha_L = 0,000625$. Известно време след пускане в действие на предавателя температурата на околния въздух се повишава с 20°C . Да се определи изменението на капацитета ΔC и изменението на индуктивността ΔL .

Решение. От формулата $\Delta C = \alpha_c \cdot \Delta t \cdot C$ намираме

$$\Delta C = 0,0001 \cdot 20 \cdot 0,000000000020 = 0,00000000000004 \text{ ф} = 0,04 \text{ пф}$$

От формулата $\Delta L = \alpha_L \cdot \Delta t \cdot L$ намираме

$$\Delta L = 0,000625 \cdot 20 \cdot 0,0000064 = 0,00000008 \text{ хн} = 0,08 \text{ мкхн}$$

131. Кръговият капацитет на автогенератора на предавателя е съставен от два паралелно свързани капацитета C_1 и C_2 . С цел да се изменя незначително честотата под влияние на температурата единият кондензатор C_1 има диелектрик, например „радиостеатит“, чийто диелектрична постоянна е с положителен температурен коефициент $\alpha_{e1} = +110 \cdot 10^{-6} = 0,000110$, а другият кондензатор има диелектрик тиконд, чийто температурен коефициент е отрицателен, а именно $\alpha_{e2} = -440 \cdot 10^{-6} = -0,000440$. Общият кръгов капацитет е $C = 100$ пф. Колко големи трябва да бъдат частичните капацитети C_1 и C_2 с цел общият капацитет $C = 100$ пф да не се изменя под влияние на температурата?

Решение. Частичните капацитети C_1 и C_2 трябва да се отнасят помежду си обратно пропорционално на температурните коефициенти:

$$C_1 : C_2 = \alpha_{e2} : \alpha_{e1} = 440 \cdot 10^{-6} : 110 \cdot 10^{-6} = 4 : 1.$$

Сборът от същите капацитети е

$$C_1 + C_2 = C = 100.$$

Като се решат последните две уравнения, се намира, че

$$C_1 = 80 \text{ пф и } C_2 = 20 \text{ пф}.$$

За един градус температурно изменение капацитетът C_1 се увеличава с $\Delta C_1 = \alpha_{e1} \cdot C_1 = 0,000110 \cdot 80 = 0,0088$ пф; за същото температурно изменение вторият капацитет се намалява с $\Delta C_2 =$

$= -\alpha_{e2} \cdot C_2 = -0,000440 \cdot 20 = -0,0088$ пф. Вижда се, че увеличението на единия капацитет се компенсира напълно от намаляването на другия капацитет.

Забележка. При решаване на последната задача не е взето предвид изменението на геометричните размери на кондензаторите под влияние на изменението на температурата.

4. УПРАВЛЕНИЕ НА ВИСОКОЧЕСТОТНИТЕ ТРЕПЕНИЯ НА РАДИОПРЕДАВАТЕЛЯ И ФИЛТРАЦИЯ НА ВИСШИТЕ ХАРМОНИЧНИ

При предаване на говор или музика височестотните трептения на предавателя се модулират с нискочестотно напрежение $u_{н.ч} = U_{н.ч} \sin(2\pi F t)$, в резултат на което се получава модулиран ток с форма, показана на рис. 56. Вижда се, че амплиту-

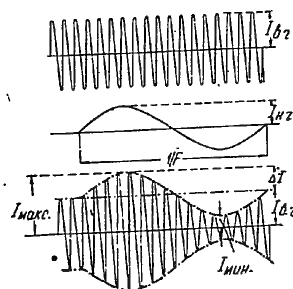


Рис. 56

дата на височестотния ток се изменя по закона на нискочестотния сигнал при средна стойност — амплитудата I на немодулирания ток и при най-голямо изменение ΔI . Уравнението на модулирания височестотен ток е

$$i_{mod} = I \left[1 + \frac{\Delta I}{I} \sin(2\pi F t) \right] \sin 2\pi f t. \quad (88)$$

$$\text{Отношението } \frac{\Delta I}{I} = m \quad (88a)$$

е коефициентът на модулацията.

Когато високочестотният ток не е модулиран, неговата средна мощност съгласно формула 78 е $P_{\sim} = \frac{1}{2} I^2 R$. Когато токът е модулиран (при говорене, пеене или свирене пред микрофона), средната му мощност става по-голяма, а именно:

$$P_{mod} = \frac{1}{2} I^2 \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) R = \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) P_{н.ч.} \quad (89)$$

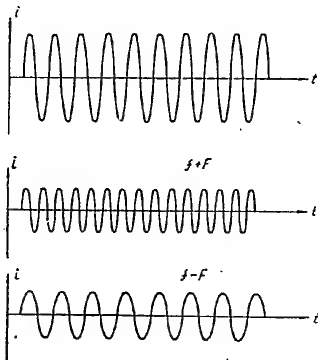


Рис. 57

Последното уравнение показва, че мощността на модулирания ток е $1 + \frac{m^2}{2}$ пъти по-голяма от мощността на немодулирания (мощността при мълчание).

Като се направи математичен анализ на уравнение 88, се установява, че модулираният високочестотен ток се състои от три съставни, показани на рис. 57: 1) ток с носеща честота $i = I \sin 2\pi f t$, 2) ток с горна странична честота

$$i_{f+F} = \frac{m}{2} I \sin 2\pi (f+F)t$$

и 3) ток с долна странична честота

$$i_{f-F} = \frac{m}{2} I \sin 2\pi (f-F)t.$$

За да не се получи изкривяване на модулираният високочестотен ток, е необходимо изходната работна точка на лампата, в която се извършва модулацията, да се намира в средата на праволинейната част на модулационната характеристика. При решетъчната модулация тази характеристика показва графически зависимостта на основната токова съставна на анодния ток I_{a1} от напрежението на решетката e_p (рис. 58,а), а при анодната модулация същата характеристика изразява

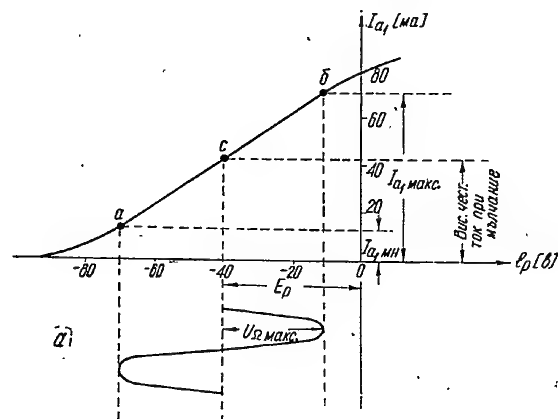


Рис. 58,а

зависимостта на тока I_{a1} от анодното напрежение e_a (рис. 58,б). При първия вид модулация решетъчното преднапрежение E_p и амплитудата на модулиращото нискочестотно напрежение $U_{н.ч.}$ трябва така да се подберат, че работната точка да не излиза вън от праволинейния участък на характеристиката (участъка а — б). При анодната модулация същото изискване се отнася за постоянното анодно напрежение E_a и за $U_{н.ч.}$

При стопроцентна модулация ($m=1$) изходното решетъчно преднапрежение се определя с формулата

$$E_{p0} = \frac{E_{p \max} + E_{p \min}}{2} \quad (90)$$

а допустимата максимална амплитуда на модулиращото ниско-
честотно напрежение

$$U_{н.ч.} = E_{p, макс} - E_{p0} = E_{p0} - E_{p, мин.} \quad (91)$$

При честотната модулация честотата на височестотния
сигнал (рис. 58,б) се изменя периодично около една средна (но-
сещата) честота f_0 при честотно отклонение (девиация)

$$\Delta f = f_1 - f_0 = f_0 - f_2$$

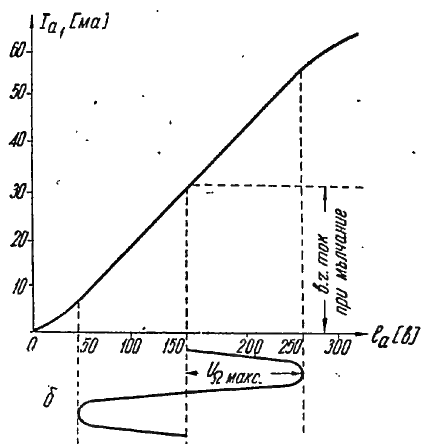


Рис. 58,б

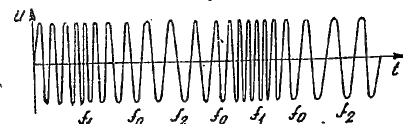
Характерна величина при честотната модулация е индек-
сът на модулацията M , определен с формулата

$$M = \frac{\Delta f}{f_0} \quad (92)$$

При радиотелеграфното предаване най-краткият сигнал —
точката — има времетраене τ ; честотата на телеграфната
манипулация е

$$F_{тлгр} = \frac{1}{2\tau} \quad (93)$$

Доказва се, че радиотелеграфният сигнал (рис. 59,а) се състои
от трептението с основна честота f и още няколко горни стра-
нични честоти $f + F_{тлгр}$, $f + 3F_{тлгр}$, $f + 5F_{тлгр}$ и т. н., и долни
странични честоти $f - F_{тлгр}$, $f - 3F_{тлгр}$, $f - 5F_{тлгр}$... За неиз-



стойности според това, в кой клон на кръга е включена антената. Когато тя е включена в индуктивния клон (рис. 59, а), коефициентът Φ_L има по-голяма стойност и се определя с формулата

$$\Phi_L = (n^2 - 1)Q. \quad (95 \text{ а})$$

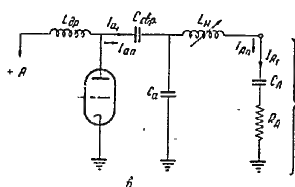


Рис. 59, а

Ако антената е включена в капацитивния клон на кръга (рис. 59, б), тя излъчва по-голяма енергия на хармоничните честоти; затова коефициентът на филтрация се понижава и се определя с формулата

$$\Phi_C = \frac{n^2 - 1}{n^2} Q. \quad (95 \text{ б})$$

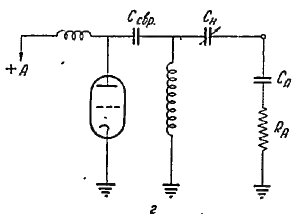


Рис. 59, б

В последните две формули n е номерът на хармоничната съставна; например за втората хармонична $n=2$, а за третата хармонична $n=3$.

Задачи

132. Да се определи дълбочината на модулацията m на модулирания високочестотен сигнал, показан на рис. 56.

Решение. От тази рисунка се вижда, че $I=100 \text{ ма}$, а нарастването на тока $\Delta I=75 \text{ ма}$. Следователно съгласно формула 89

$$m = \frac{\Delta I}{I} = \frac{75}{100} = 0,75 = 75 \%$$

133. Във високочестотния усилвател от задача 113 се извършва амплитудна модулация, като амплитудата на тока достига максимална стойност $I_{\text{макс}}=560 \text{ ма}$, а минимална $I_{\text{мин}}=0$. Да се определи средната променливотокова мощност на усилвателя.

Решение. В задача 113 е дадена ефективната стойност на кръговия ток $I_{\text{кр.эф}}=200 \text{ ма}$; амплитудата на този ток е 1,4 пъти по-голяма: $I_{\text{кр}}=1,4 \cdot 200=280 \text{ ма}$. При модулация тази амплитуда пораста на стойност 560 ма, сиреч с още 280 ма. Следователно изменението на тока $\Delta I=280 \text{ ма}$. Съгласно формула 89 коефициентът на модулацията е

$$m = \frac{\Delta I}{I} = \frac{280}{280} = 1 = 100 \%$$

Мощността при мълчание $P_{\text{мълч}}=1,2 \text{ вт}$, а при модулация

$$P_{\text{мод}} = \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) P_{\text{мълч}} = \left(1 + \frac{1^2}{2}\right) \cdot 1,2 = 1,8 \text{ вт}.$$

134. При по-тихо говорене пред микрофона амплитудата на кръговия ток от предшествуващата задача достига максимална стойност $I_{\text{макс}}=336 \text{ ма}$. Колко голяма е в този случай мощността на съпалото?

Решение. Максималното изменение на тока е

$$\Delta I = I_{\text{макс}} - I = 336 - 280 = 56 \text{ ма}.$$

Коефициентът на модулацията в този случай е

$$m = \frac{\Delta I}{I} = \frac{56}{280} = 0,2 = 20 \%$$

а мощността $P_{\text{мод}}$ в кръга е

$$P_{\text{мод}} = P_{\text{мълч}} \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) = 1,2 \left(1 + \frac{0,2^2}{2}\right) = 1,224 \text{ вт}.$$

Полученият резултат показва, че при дълбочина на модулацията $m=20\%$ мощността на тока се е увеличила само с $1,224 - 1,2 = 0,024$ *вт* = 24 *мвт*.

135. Какъв ток ще се измери с термомилиампермера в кръга на усилвателя от задачи 133 и 134?

Решение. При мълчание се измерва ефективната стойност на кръговия ток $I_{кр.эф} = 200$ *ма*. При модулация измерителният уред ще показва средната стойност на изменяния се по амплитуда модулиран ток $I_{кр.ср}$, чиято мощност се равнява на 1,8 *вт*. От формулата

$$P_{мод} = I_{кр.ср}^2 \cdot R$$

при $R = 30$ *ома* (съгласно данните от задача 113) токът

$$I_{кр.ср} = \sqrt{\frac{P_{мод}}{R}} = \sqrt{\frac{1,8}{30}} = 0,245 \text{ а} = 245 \text{ ма.}$$

Ако се сравни тази стойност със стойността на тока при мълчание $I_{кр.эф} = 200$ *ма*, установява се, че нарастването на тока е точно $\sqrt{1 + \frac{m^2}{2}}$ пъти. И наистина

$$\frac{I_{кр.ср}}{I_{кр.эф}} = \frac{245}{200} = 1,225 = \sqrt{1 + \frac{1^2}{2}} = \sqrt{1,5}.$$

При втория случай коэффициентът $m=0,2$. Нарастването на средния ток ще бъде

$$\frac{I_{кр.ср}}{I_{кр.эф}} = \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}} = \sqrt{1 + \frac{0,2^2}{2}} = 1,01 \text{ пъти,}$$

т. е. милиампермерът ще показва 1% увеличение на тока, а именно

$$I_{кр.ср} = 1,01 \cdot 200 = 202 \text{ ма.}$$

Забележка. В задача 134 е дадено, че в отделни моменти токът в кръга достига максимална стойност 336 *ма*; на този максимален ток съответства ефективен ток $\frac{336}{1,41} = 240$ *ма*; милиампермерът обаче няма да показва тази стойност, защото тя е налице само в отделни моменти; през по-голямата част от времето токът има по-малки стойности, дори и такива, по-малки от 200 *ма*, защото минималната амплитуда на модулирания ток съгласно рис. 56 е

$$I_{мин} = I_{кр} - \Delta I = 280 - 56 = 224 \text{ ма.}$$

Ефективната стойност на тока с амплитуда $I_{мин} = 224$ *ма* е

$$I_{мин.эф} = \frac{I_{мин}}{1,41} = \frac{224}{1,41} = 156,8 \text{ ма.}$$

Получените резултати показват, че действително измерената с урела ефективна стойност $I_{кр.ср} = 202$ *ма* е средна стойност между $I_{макс.эф} = 245$ *ма* и $I_{мин.эф} = 156,8$ *ма*.

136. Токът на усилвателя от задача 135 има носеща честота $f = 2\,500\,000$ *хц*, а модулиращият е с честота $F = 500$ *хц*. Да се определят амплитудите и честотите на новосъздадените при модулацията токови съставни, първо при $m=1$ и второ при $m=0,2$.

Решение. Съгласно формулата

$$I_{1,2} = \frac{m}{2} I \sin[2\pi(f \pm F)t] \quad (96)$$

двата странични тока имат амплитуда при $m=1$:

$$I_{1,2} = \frac{m}{2} I = \frac{1}{2} 280 = 140 \text{ ма,}$$

а при $m=0,2$ амплитудата им е пет пъти по-малка:

$$I'_{1,2} = \frac{m}{2} I = \frac{0,2}{2} 280 = 28 \text{ ма.}$$

Единият от новосъздадените токове има честота $f+F = 2\,500\,000 + 500 = 2\,500\,500$ *хц* (горна странична честота), а другият ток има честота

$f-F = 2\,500\,000 - 500 = 2\,499\,500$ *хц* (долна странична честота).

137. В даден радиопредавател се извършва решетъчна модулация в генераторна лампа, която има модулационната характеристика на рис. 58, а. Какво решетъчно преднапрежение трябва да има генераторната (усилвателната) лампа при мълчание и каква трябва да бъде максималната амплитуда $U_{нч.макс}$ на модулиращото напрежение с цел модулираният ток да не е изкривен? Колко голяма е амплитудата на основната токова съставна I_a , при мълчание, при максимален и минимален режим и колко голям е коэффициентът на модулацията?

Решение. От модулационната характеристика се вижда, че на средата на праволинейния ѝ участък съответства преднапрежение $E_{рп} = -40$ *в*; такава ще бъде преднапрежението на лампата при липса на модулиращ сигнал, т. е. при мълчание. Стойността на същото преднапрежение може да бъде опреде-

лена и с формула 91, в която $E_{p \text{ макс}}$ е преднапрежението, което се получава за положителния максимум на модулиращото напрежение, а $E_{p \text{ мин}}$ е преднапрежението за отрицателния максимум на същото модулиращо напрежение $U_m = U_{н.ч.} \sin \Omega t$. На рис. 58,а напрежението $E_{p \text{ макс}} = -12$ в, а $E_{p \text{ мин}} = -68$ в. Следователно

$$E_{p0} = E_{p \text{ макс}} = \frac{1}{2} (E_{p \text{ макс}} + E_{p \text{ мин}}) = \frac{-12 - 68}{2} = -40 \text{ в.}$$

Амплитудата на модулиращото напрежение съгласно формула 92 е

$$U_{н.ч.} = E_{p \text{ макс}} - E_{p0} = -12 - (-40) = 28 \text{ в.}$$

При мълчание амплитудата I_{a1} на анодния ток според модулационната характеристика на рис. 58,а е $I_{a1 \text{ макс}} = 150$ ма; при максимален режим амплитудата $I_{a1 \text{ макс}} = 250$ ма, а при минимален режим $I_{a1 \text{ мин}} = 50$ ма.

Коефициентът на модуляция е

$$m = \frac{I_{a1 \text{ макс}} - I_{a1 \text{ мин}}}{I_{a1 \text{ макс}}} = \frac{250 - 50}{150} = 0,66 = 66\%.$$

138. В усилвателната лампа от задача 137 се извършва анодна модулация при модулационна характеристика от рис. 58,б. При мълчание средното анодно напрежение е $U_{a \text{ ср}} = 160$ в и на него съответства съгласно модулационната характеристика ток $I_{a1} = 150$ ма. Каква трябва да бъде амплитудата на модулиращото нискофреkwентно напрежение, подадено в анодната верига на усилвателната лампа, за да се осъществи същият коефициент на модуляция както в предшествуващата задача, а именно $m = 0,66$.

Решение. От формула 69 следва, че

$$\Delta I = m I_{a1} = 0,66 \cdot 150 = 100 \text{ ма.}$$

Следователно максималната стойност на тока I_{a1} е

$$I_{a1 \text{ макс}} = I_{a1} + \Delta I = 150 + 100 = 250 \text{ ма,}$$

а минималната стойност на същия ток е

$$I_{a1 \text{ мин}} = I_{a1} - \Delta I = 150 - 100 = 50 \text{ ма.}$$

Максималната амплитуда $I_{a1 \text{ макс}}$ според рис. 58,б се постига, когато средното анодно напрежение стане $U_{a \text{ макс}} = 280$ в, а

минималната амплитуда $I_{a1 \text{ мин}}$ — за напрежението $U_{a \text{ мин}} = 40$ в. Очевидно е, че амплитудата на модулиращото напрежение е

$$U_{н.ч.} = U_{a \text{ ср}} - U_{a \text{ мин}} = 160 - 40 = 120 \text{ в.}$$

139. Да се определи мощността на високочестотното стъпало от предните две задачи, ако в кръга се получава променливо напрежение с амплитуда $U_{a \text{ макс}} = 600$ в.

Решение. Съгласно формула 78,а мощността при мълчание е

$$P_{м.ч.} = \frac{1}{2} I_{a1} \cdot U_{a \text{ макс}} = \frac{1}{2} 0,15 \cdot 600 = 45 \text{ вт.}$$

При модулация съгласно уравнение 90

$$P_{мод} = \left(1 + \frac{0,66^2}{2}\right) \cdot 45 = 1,22 \cdot 45 = 54,9 \text{ вт.}$$

140. Да се определи коефициентът на модуляция m на стъпалото с модулационна характеристика на рис. 58,а, ако преднапрежението при мълчание е $E_{p0} = -30$ в, а модулиращото напрежение има амплитуда $U_{н.ч.} = 18$ в.

141. Да се определи същият коефициент при анодната модулация при модулационна характеристика на рис. 58,б, ако $U_{a \text{ ср}} = 150$ в, а амплитудата на модулиращото напрежение $U_{н.ч.} = 100$ в.

142. Защо необходимото модулиращо нискофреkwентно напрежение в задача 137 е по-ниско (28 в), а в задача 138 същото напрежение е по-високо (120 в), макар че анодният ток се изменя все в едни и същи граници — между 50 и 250 ма?

143. Радиопредавател на УКВ работи на носеща (средна) честота $f_{cp} = 30$ мгхц. Същият е честотно модулиран с нискофреkwентно напрежение, което има честота $F = 400$ хц. При модулацията честотата на предавателя се изменя между $f_{мин} = 29\,998\,000$ хц и $f_{макс} = 30\,002\,000$ хц. Каква е девиацията и индексът на модуляцията на честотно модулирания сигнал на предавателя?

Решение. Съгласно формула 93 девиацията е

$$\Delta f = f_{макс} - f_{cp} = 30\,002\,000 - 30\,000\,000 = 2000 \text{ хц.}$$

Индексът на модуляцията пък се определя с формула 94:

$$M = \frac{\Delta f}{F} = \frac{2000}{400} = 5.$$

144. Какви индекси на модулация M_1 , M_2 , M_3 и M_4 се получават при предавателя от предшестващата задача, ако високочестотният сигнал е модулиран с честотите $F_1=100$ хц, $F_2=1000$ хц, $F_3=2000$ хц и $F_4=4000$ хц?

145. Радистът предава радиograma с предавател при ръчна манипулация 10 точки в секунда. Каква е честотата на телеграфирането?

Решение. Понеже след всяка точка, траеща време τ , следва пауза, траеща също време τ , следва, че това време-траене

$$\tau = \frac{1}{10+10} = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ сек} = 50 \text{ мсек.}$$

На такова време-траене съгласно формула 95 съответствува телеграфна честота

$$E_{\text{тлгр}} = \frac{1}{2\tau} = \frac{1}{2 \cdot 0,05} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ хц.}$$

146. Какви токови съставни се съдържат в радиотелеграфния сигнал, предаван с телеграфната честота от предшестващата задача $F_{\text{тлгр}}=10$ хц, ако носещата честота на предавателя е $f=6000$ кхц?

Решение. Според честотната спектрограма на рис. 59,б радиотелеграфният сигнал съдържа следните токови съставни:

- 1) ток с носеща честота $f=6000000$ хц;
- 2) ток с честота $f+F_{\text{тлгр}}=6000000+10=6000010$ хц;
- 3) ток " $f+3F_{\text{тлгр}}=6000000+3 \cdot 10=6000030$ хц;
- 4) ток " $f-F_{\text{тлгр}}=6000000-10=5999990$ хц и
- 5) ток " $f-3F_{\text{тлгр}}=6000000-3 \cdot 10=5999970$ хц.

147. Каква е широчината на честотния канал, излъчван от предавателя, за който става въпрос в задача 146?

Решение. Широчината Δf на честотния канал се равнява на разликата между най-високата и най-ниската излъчвана честота; в дадения случай

$$\Delta f = f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}} = 6000030 - 5999970 = 60 = 6 \cdot 10 \text{ хц.}$$

Изобщо при ръчната телеграфна манипулация широчината на честотния канал се равнява на телеграфната честота, умножена на 6.

148. Да се определят честотите на токовите съставни и широчината на честотния спектър на радиопредавател с носеща честота $f=5000$ кхц, предаващ радиोगрами с телеграфната машина СТ-35 при телеграфна честота $F_{\text{тлгр}}=20$ хц.

Упътване. Задачата да се реши, като се използва честотната спектрограма на рис. 59,б.

149. Усилвателната лампа, в която се извършва радиотелеграфната манипулация, има показаната на рис. 58,а модулационна характеристика. При натиснат ключ на решетката (управляващата) на лампата се подава преднапрежение $E_p=-12$ в, а при отпуснат ключ на същия електрод се подава преднапрежение $E_p=-90$ в, вследствие на което лампата се запуща. Каква е телеграфната мощност на усилвателното стъпало, ако $U_{a_{\sim}}=600$ в (виж задача 139)? Да се сравни същата с мощността на стъпалото при предаване на говор при дълбочина на модулацията $m=66\%$, както е в задача 139.

Решение. От модулационната характеристика на рис. 58,а се вижда, че за $E_p=-12$ в амплитудата на основната токова съставна $I_a=250$ ма=0,25 а. Телеграфната мощност на усилвателното стъпало съгласно формула 78,а е

$$P_{\text{тлгр}}=0,5 I_a U_{a_{\sim}}=0,5 \cdot 0,25 \cdot 600=75 \text{ вт.}$$

В задача 139 се определи, че при телефонен режим мощността при мъдчание е $P_{\text{мъдч}}=45$ вт, а при говор и $m=0,66$ мощността пораста на 54,9 вт. Допълнителната мощност около 10 вт (54,9-45) е мощността на образувания при модулация два тока със странични честоти $f+F$ и $f-F$. Ако предаването на говора се извършва при максимален коефициент $m=1$, съгласно уравнение 90 мощността $P_{\text{мод}}$ ще бъде максимално $45 \cdot 1,5=67,5$ вт; следователно мощността на токовете със странични честоти ще бъде $67,5-45=22,5$ вт.

Изводът, който трябва да се направи от получените резултати, е, че при телеграфното предаване мощността, която изразява полезния сигнал, е много по-голяма (75 вт) от мощността, изразяваща телефонния сигнал (10 или 22,5 вт). Затова далечината на телеграфното радиопредаване е по-голяма от далечината на телефонното.

Забележка. Решението на задачата е извършено при условие, че решетчатото преднапрежение на крайната лампа е различно при телеграфното и телефонно предаване.

150. Антената на един предавател е свързана към крайното му стъпало по схемата на рис. 59,в. Да се определи, колко

пъти втората и третата хармонична съставна в антенния ток са по-слаби от съответните втора и трета хармонична на анодния ток на крайната лампа, ако антенният ток е с основна честота $I_A = 4 \text{ a}$, а анодният ток с основна честота на крайната лампа $I_{a1} = 100 \text{ ma} = 0,1 \text{ a}$; величината $Q = 53$.

Решение. Коэффициентът на филтрация на крайното стъпало според рис. 59, в за втората хармонична съгласно формула 95 а е

$$\phi_L = (n^2 - 1) Q = (2^2 - 1) \cdot 53 = 159 \approx 160.$$

Същият коэффициент за третата хармонична е

$$\phi_L = (n^2 - 1) Q = (3^2 - 1) Q = 8 \cdot 53 = 424.$$

Съгласно формула 94 отношението

$$\frac{I_{A2}}{I_{A3}} = \frac{I_{a1}}{\phi_L} = \frac{0,1}{160} = \frac{1}{160} = 1:160.$$

Този резултат показва, че втората хармонична I_{A2} на антенния ток е 4 пъти по-малка от същата хармонична на анодния ток I_{a1} .

За третата хармонична се получава

$$\frac{I_{A3}}{I_{A2}} = \frac{I_{a1}}{Q_L} = \frac{40}{424} = \frac{1}{10,57} = 1:10,57,$$

което означава, че третата хармонична съставна в антенния ток е около 10 пъти по-слаба в сравнение със същата хармонична в анодния ток.

151. Да се определят втората и третата хармонична съставна на антенния ток от задача 150, ако същите съставни в анодния ток са съответно 1,7 пъти и 4,5 пъти по-слаби от основната съставна $I_{a1} = 100 \text{ ma}$.

Решение. Токът I_{A2} е 4 пъти по-слаб от I_{a2} , а последният — 1,7 пъти по-слаб от $I_{a1} = 100 \text{ ma}$; следователно токът I_{A2} в сравнение с тока I_{a1} е $4 \cdot 1,7 = 6,8$ пъти по-слаб, сиреч

$$I_{A2} = \frac{I_{a1}}{6,8} = \frac{100}{6,8} = 14,7 \text{ ma}.$$

Третата хармонична на антенния ток е $10,57 \cdot 4,5 = 47,6$ пъти по-слаба от I_{a1} , сиреч

$$I_{A3} = \frac{I_{a1}}{47,6} = \frac{100}{47,6} = 2,1 \text{ ma}.$$

5. ЦЯЛОСТНО ИЗЧИСЛЕНИЕ НА ЛЮБИТЕЛСКИ РАДИОПРЕДАВАТЕЛ

В следващото изложение е посочен метод за цялостно изчисление на маломощен радиопредавател. Този метод е ориентиран и може да се ползва от радиолюбителите от клас С.

Исходни данни. Радиопредавателят трябва да е двустъпален, да работи на телеграфия на любителската вълна $\lambda = 80 \text{ m}$ ($f = 3750000 \text{ Hz}$) и да излъчва мощност $P_A = 2 \text{ вт}$ с вертикална заземена антена с дължина $l = 8 \text{ m}$. Схемата на предавателя е дадена на рис. 60: първото стъпало е автогенератор — изпълнено е с пентод; второто е усилвател на мощност и е изпълнено с пентод, а захранването се извършва с мрежов токоизправител (кенотрон).

Изчисленията на радиопредавателя се извършва в следната последователност:

а) Изчисление на крайното стъпало с антената

1. Определя се активното (излъчвателното) антенно съпротивление R_A . Използва се формула 38 б, понеже $l = \frac{\lambda}{10} = 8 \text{ m}$.

Понеже дължината l е по-малка от $\frac{\lambda}{4}$, необходимо е антената да бъде изкуствено удължена с последователната удължителна индуктивност $L_{уд}$, състояща се от индуктивността за свързка $L_{свр}$ и индуктивността за настройка (вариометър) (виж схемата). За такава удължена антена ефективната височина се взема приблизително равна на половината от геометричната ѝ дължина. Следователно

$$H_{ef} = \frac{l}{2} = \frac{8}{2} = 4 \text{ m и}$$

$$R_A = 1580 \left(\frac{H_{ef}}{\lambda} \right)^2 = 1580 \left(\frac{4}{80} \right)^2 = 4 \text{ ома}.$$

2. Определя се необходимият антенен ток, който трябва да тече през антената (в основанието ѝ), за да се излъчи мощността $P_A = 2 \text{ вт}$. От формула 43 се намира ефективната стойност на антенния ток:

$$I_A = \sqrt{\frac{P}{R_A}} = \sqrt{\frac{2}{4}} = 0,7 \text{ a}.$$

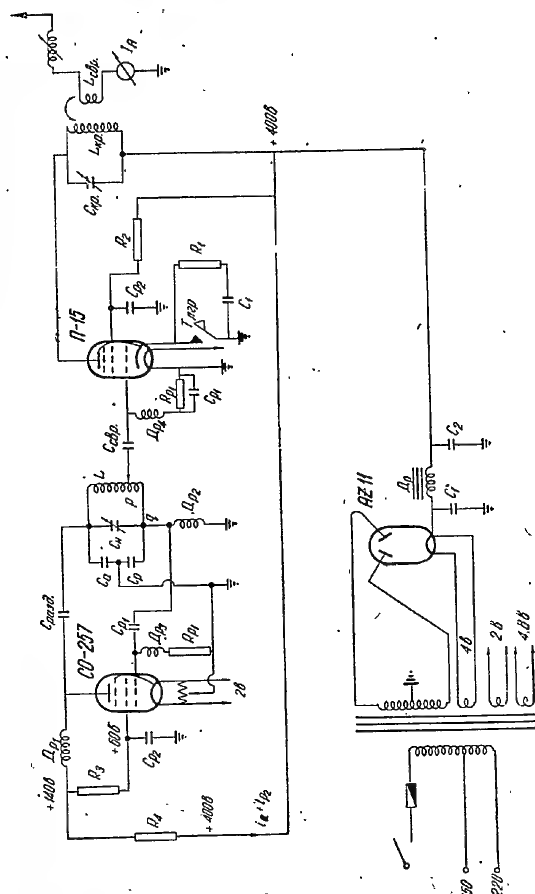


Рис. 60

3. Определя се необходимата удължителна индуктивност L_{yd} . Съгласно формула 39

$$X_A = -500 \cotg\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot l\right) = -500 \cotg\left(\frac{2\pi}{80} \cdot 8\right) = -685 \text{ ома.}$$

При настроена антенна верига $|X_L| = |X_A| = 685$ ома, отгдето:

$$L_{yd} = \frac{2\pi f L_{yd}}{2\pi f} = \frac{685}{2\pi \cdot 3750000} = 0,000029 \text{ хн} = 29 \text{ мкхн.}$$

Тази индуктивност се разпределя на две части:

$L_{yd} = L_{свр} + L_n = 4 \text{ мкхн} + 25 \text{ мкхн}$ (това се приема произволно).

4. Определя се общото активно съпротивление на антенната верига. Загубното (активното) съпротивление на удължителните бобини $L_{свр}$ и L_n се определя с помощта на формула 6, като се приема за качествения фактор стойността $Q=100$:

$$R_L = \frac{X_L}{Q} = \frac{685}{100} = 6,85 \text{ ома.}$$

За загубата в омическото съпротивление на антената противовесът (земята) се приема $R_{заг} = 2$ ома.

Общото активно съпротивление на антенната верига е

$$R_{A.B} = R_A + R_L + R_{заг} = 4 + 6,85 + 2 = 12,85 \text{ ома.}$$

5. Определя се коефициентът на полезно действие на антенната верига съгласно уравнение 86 а:

$$\eta_{A.B} = \frac{R_A}{R_{A.B}} = \frac{4}{12,85} = 0,31 = 31\%.$$

6. Определя се активната мощност, която усилвателят подава в антенната верига. Понеже к. п. д. $\eta_{A.B} = 0,31$ представлява отношение между излъчената мощност P_A и тази, подадена от усилвателя в цялата антенна верига $P_{A.B}$, следва, че

$$P_{A.B} = \frac{P_A}{\eta_{A.B}} = \frac{2}{0,31} = 6,45 \text{ вт.}$$

7. Определя се електродвижещата сила, действаща в индуктивността за свързка $L_{свр}$. При настроена антенна верига

$$E_{\sim} = I_A \cdot R_{A.B} = 0,7 \cdot 12,85 = 9 \text{ в.}$$

8. Определят се елементите на анодния трептящ кръг на усилвателя. Приемаме, че капацитетът на настройващия кондензатор заедно с монтажните и паразитни капацитети е $C_{кр} = 100 \text{ пф} = 0,0000000001 \text{ ф}$. Индуктивността на кръга е

$$L_{кр} = \frac{1}{(2\pi f)^2 \cdot C_{кр}} = \frac{1}{40 \cdot 3750000^2 \cdot 0,0000000001} = 0,0000178 \text{ хн} = 17,8 \text{ мкхн.}$$

Индуктивното съпротивление на индуктивността $L_{кр} = 17,8 \text{ мкхн}$ е $X_L = 2\pi f L_{кр} = 6,28 \cdot 3750000 \cdot 0,0000178 = 418 \text{ ома}$.

Приемаме, че Q -факторът на бобината е 80; следователно загубното съпротивление на кръга е

$$R_{кр} = \frac{X_L}{Q} = \frac{418}{80} = 5,2 \approx 5 \text{ ома.}$$

9. Определяме активната мощност $P_{\sim}$, която усилвателят произвежда в трептящия кръг. За целта е необходимо да си зададем коефициента на полезно действие на кръга. Нека $\eta_{кр} = 0,77 = 77\%$. Следователно

$$P_{\sim} = \frac{P_{\text{а.в}}}{\eta_{кр}} = \frac{6,45}{0,77} = 8,38 \text{ вт.}$$

10. Определя се внесеното съпротивление в кръга ΔR . От уравнение 86 следва

$$\Delta R = 0,77 R_{кр} + 0,77 \Delta R, \text{ откъдето } \Delta R = 16,74 \text{ ома.}$$

11. Определя се еквивалентното съпротивление на натоварения аноден трептящ кръг. Съгласно формула 87 следва

$$R_{екв} = \frac{L_{кр}}{(R_{кр} + \Delta R) C_{кр}} = \frac{0,0000178}{21,7 \cdot 0,0000000001} = 8200 \text{ ома.}$$

12. Определят се: амплитудата на основната съставна на анодния ток I_a , и амплитудата на анодното променливо напрежение $U_{a\sim}$. В анодния трептящ кръг на усилвателя трябва да се произведе колебателната мощност $P_{\sim} = 8,38 \text{ вт}$. Съгласно формула 78 а

$$P_{\sim} = \frac{1}{2} I_a U_{a\sim} = \frac{1}{2} I_{a1} \cdot I_{a1} R_{екв} = \frac{1}{2} I_{a1}^2 R_{екв},$$

откъдето

$$I_{a1} = \sqrt{\frac{2 P_{\sim}}{R_{екв}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8,38}{8200}} = \sqrt{\frac{16,76}{8200}} = 0,045 \text{ а} = 45 \text{ ма.}$$

Амплитудата на анодното променливо напрежение е

$$U_{a\sim} = I_{a1} \cdot R_{екв} = 0,045 \cdot 8200 = 369 \text{ в.}$$

13. Избор на лампа за усилвателното стъпало. Изчислените по-горе данни дават основание да се избере подходяща петелектродна лампа. Търсеният пентод трябва да

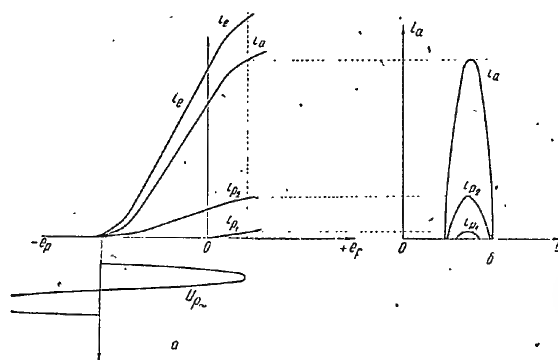


Рис. 61

има полезна променливотокова мощност, не по-малка от 8,38 вт, на анода му да се подава постоянно напрежение, около 10% по-голямо от амплитудата $U_a = 369 \text{ в}$, сиреч $E_a \approx 400 \text{ в}$. Ако се реши стъпалото да усилва в клас В, съгласно формула 81 върховата стойност $i_{a\text{макс}}$ на аноднотоковия импулс трябва да бъде

$$i_{a\text{макс}} = 2 I_{a1} = 2 \cdot 45 = 90 \text{ ма.}$$

В пентода освен аноден ток протича и ток i_p в екраниращата решетка — максималната му стойност е около 15—20% от $i_{a\text{макс}}$, а също и ток i_{p1} в управляващата решетка с максимална стойност средно 5% от $i_{a\text{макс}}$ (рис. 61). Сборът от максималните стойности на трите тока представлява максималната стойност на емисионния ток:

$$i_{e\text{макс}} = i_{a\text{макс}} + i_{p2\text{макс}} + i_{p1\text{макс}}.$$

Емисионен ток с такава именно максимална стойност трябва да произведе търсената усилвателна лампа.

На всички горенброени изисквания отговаря съветският пентод П-15, който произвежда максимална полезна мощност $P_{\sim} = 12 \text{ вт}$ при $E_a = U_G = 400 \text{ в}$ и има максимален емисионен ток $I_{e_{\text{макс}}} = 120 \text{ ма}$, $U_{\text{отопл}} = 4,8 \text{ в}$, $I_{\text{отопл}} = 0,68 \text{ а}$, напрежение $E_{p_1} = 200 \text{ в}$, допустима загубна мощност на анода $P_{\text{заг}} = 15 \text{ вт}$ и статична стръмина $S = 4 \frac{\text{ма}}{\text{в}}$.

14. Определя се изразходваната правотокова мощност от анодния токоизточник. Радиолюбителят е решил стъпалото му да работи в клас В. От теоретичната радиотехника е известно, че в този клас постоянната съставна на анодния ток $I_{a_{\sim}}$ е 1,57 пъти по-малка от I_{a_1} :

$$I_{a_{\sim}} = \frac{I_{a_1}}{1,57} = \frac{45}{1,57} = 29 \text{ ма} = 0,029 \text{ а}.$$

Съгласно формула 65

$$P_{\sim} = I_{a_{\sim}} U_G = 0,029 \cdot 400 = 11,6 \text{ вт}.$$

Приемаме, че $I_{p_1} = 0,3 \cdot I_{a_{\sim}} = 0,3 \cdot 29 = 8,7 \text{ ма}$.

Правотоковата мощност във веригата на екраниращата решетка е

$$P_{p_1} = I_{p_1} \cdot U_G = 0,0087 \cdot 400 = 3,48 \text{ вт}.$$

Общо токоизточникът изразходва $11,6 + 3,48 = 15,08 \text{ вт}$.
15. Определя се загубната мощност в анода.
Съгласно формула 67

$$P_{\text{заг}} = P_{\sim} - P_{\sim} = 11,6 - 8,38 = 3,22 \text{ вт}.$$

Тази мощност е по-малка от допустимата.

16. Изчислява се мощността $P_{\sim \text{кр}}$, която се изразходва в активното (загубното) съпротивление на кръга $R_{\text{кр}} = 5 \text{ ома}$. Понеже в антенната верига се подава мощност $P_{A.B} = 6,45 \text{ вт}$, разликата до $8,38 \text{ вт}$ се изразходва в загубното съпротивление на кръга:

$$P_{\sim \text{кр}} = 8,38 - 6,45 = 1,93 \text{ вт}.$$

17. Определя се кръговият ток, като се вземе предвид, че мощността $P_{\sim \text{кр}} = 1,93 \text{ вт} = \frac{1}{2} I_{\text{кр}}^2 R_{\text{кр}}$. Въз основа на последното уравнение

$$I_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{2 P_{\sim \text{кр}}}{R_{\text{кр}}}} = \sqrt{\frac{3,86}{5}} = 0,88 \text{ а (максимална стойност)}.$$

Ефективната стойност е $0,7 \cdot 0,88 = 0,62 \text{ а}$.

18. Определя се коефициентът на взаимноиндуктивността M . Този коефициент се определя с формула 83:

$$E_{\sim} = I_{\text{кр}} \cdot \omega M = I_{\text{кр}} \cdot X_{\text{свр}}.$$

Съпротивлението на свързка $X_{\text{свр}} = \omega M = \frac{E}{I_{\text{кр}}} = \frac{9}{0,62} = 14,5 \text{ ома}$.

Коефициентът $M = \frac{14,5}{6,28 \cdot 3750 \cdot 000} = 0,00000061 \text{ хн} = 0,61 \text{ мкхн}$.

Коефициентът на свързката $K = \frac{M}{\sqrt{L_{\text{свр}} \cdot L_{\text{кр}}}} = \frac{0,61}{\sqrt{4 \cdot 17,8}} = 0,07$.

19. Определяне броя на навивките на кръговата бобина и на бобината за свързка. Тези бобини се правят със сравнително дебела медна жица при доста голям диаметър $2r$. Изчисляват се с формулата

$$L = \frac{0,227 \cdot 2r \omega^2}{100 + 230 \frac{l}{2r}} \quad (97)$$

Приемаме $2r = 40 \text{ мм}$ и дължина $l = 60 \text{ мм}$. Съгласно формулата броят на навивките

$$\omega = \sqrt{\frac{L (100 + 230 \frac{l}{2r})}{0,227 \cdot 2r}} = \sqrt{\frac{17,8 (100 + 230 \frac{60}{40})}{0,227 \cdot 40}} = 30.$$

Бобината за свързка има

$$\omega = \sqrt{\frac{4 (100 + 230 \frac{60}{40})}{0,227 \cdot 40}} = 14 \text{ навивки}.$$

Двете бобини се навиват на едно и също (общо) тяло една до друга при изчислената по-горе слаба връзка $K = 0,07$.

Забележка. Броят на навивките на варнометъра $L_{\text{в}}$ трябва да се определи експериментално.

20. Определя се амплитудата на възбуждащото напрежение. За усилване клас В съгласно формула 80 при стръмнина на лампата $S=4\frac{ma}{\delta}$ се получава

$$U_{p\sim} = \frac{i_{a\max} \cdot 90}{S} = \frac{90}{4} = 22,5 \text{ в.}$$

21. Решетъчното преднапрежение се определя от статичната характеристика на лампата — при усилване клас В то е равно на потенциала на запушване на лампата. За лампа П-15 същото преднапрежение е равно, на — 15 в.

22. Определя се гасещото съпротивление R_2 във веригата на екраниращата решетка при ток $I_{p2} = 5,8 \text{ ма}$ (изчислен по-горе) и $E_{p2} = 200 \text{ в}$

$$R_{p2} = \frac{E_A - E_{p2}}{I_{p2}} = \frac{200}{0,0058} = 34\,400 \text{ ома} \approx 35 \text{ кома.}$$

23. Определя се оттечното решетъчно съпротивление R_{p1} . През това съпротивление протича постоянно-токовата съставна на решетъчния ток I_{p1} . Приемаме, че $I_{p1} = 0,05$. $I_{a1} = 0,05 \cdot 29 = 1,45 \text{ ма} \approx 0,0015 \text{ а.}$

Съпротивлението

$$R_{p1} = \frac{E_p}{I_{p1}} = \frac{15}{0,0015} = 10\,000 \text{ ома.}$$

За паралелния кондензатор приемаме $C_{p1} = 1000 \text{ пф.}$

24. Определя се изразходваната променливо-токова мощност в решетъчната верига. Тази мощност се определя с формулата

$$P_{p\sim} = \frac{1}{2} I_{p1} U_{p\sim}. \quad (98)$$

Решетъчно-токовата съставна I_{p1} е основната хармонична и нормално нейната амплитуда е два пъти по-голяма от I_{p1} :

$$I_{p1} = 2 I_{p2} = 2 \cdot 1,45 = 2,9 \text{ ма.}$$

Мощността $P_{p\sim} = 0,5 I_{p1} U_{p\sim} = 0,5 \cdot 0,0029 \cdot 22,5 = 0,033 \text{ вт} = 33 \text{ мвт.}$

б) Изчисление на автогенератора

Предназначението на автогенератора е да възбужда крайното стъпало с напрежение $U_{p\sim} = 22,5 \text{ в}$, като отдава в неговата решетъчна верига незначителната мощност $P_{p\sim} = 0,033 \text{ вт}$. Такава задача може да изпълнява автогенератор, конструиран с лампа с каква да е малка мощност. За тази цел радиобителят избира съветския пентод СО-257 при изходни данни:

$$U_{отпол} = 2 \text{ в}, \quad I_{отпол} = 0,275 \text{ а}, \quad E_a = 140 \text{ в}, \quad E_{p2} = 60 \text{ в}, \\ S = 1,8 \frac{ma}{\delta}.$$

Последователността в примерното изчисление на автогенератора е следната:

1. Определят се елементите на трептящия кръг: L и C имат същите стойности, както и на усилвателя на мощност, а именно $L = 17,8 \text{ мкхх}$ и $C = 100 \text{ пф}$. За активното съпротивление $R = R_{кр} + \Delta R$ се взема стойност 7 ома : собственото $R_{кр} = 5 \text{ ома}$ и внесено от решетъчната верига $\Delta R = 2 \text{ ома}$.

2. Еквивалентното съпротивление на кръга

$$R_{екв} = \frac{L}{RC} = \frac{0,0000178}{7 \cdot 0,000000001} = 25\,550 \text{ ома.}$$

3. Приемаме за анодното променливо напрежение стойност, пет пъти по-голяма от $U_{p\sim} = 22,5 \text{ в}$:

$$U_{a\sim} = 5 U_{p\sim} = 5 \cdot 22,5 = 112,5 \text{ в.}$$

4. Токът $I_{a1} = \frac{U_{a\sim}}{R_{екв}} = \frac{112,5}{25\,550} = 0,0045 \text{ а} = 4,5 \text{ ма.}$

5. Колебателната мощност в кръга е

$$P_{\sim} = 0,5 I_{a1} U_{a\sim} = 0,5 \cdot 0,0045 \cdot 112,5 = 0,253 \text{ вт} = 253 \text{ мвт.}$$

6. От схемата на рис. 60 се вижда, че автогенераторът е с група гридлик $R_p C_p$ за автоматично получаване на преднапрежението. При такава схема работната точка нормално се избира да бъде вляво от началото на характеристиката (вляво от точка А на рис. 51, а). Това е режимът на усилване клас С. При такъв режим за $i_{a\max}$ приемаме

$$i_{a\max} = 2,25 I_{a1} = 2,25 \cdot 4,5 = 10 \text{ ма.}$$

При същия режим напрежението $U_{p\sim}$ на автогенератора се определя с формула 80, но с около 50% повишение, сиреч

$$U_{p\sim} = \frac{1,5 i_{a\max}}{S} = \frac{1,5 \cdot 10}{1,8} = 8,3 \text{ в.}$$

7. Коефициентът на обратната връзка $K_{o.s} = \frac{U_p}{U_a} = \frac{8,3}{110} = 0,08$.

8. Автогенераторът е изпълнен по схемата на рис. 47. Приемаме за $C_k = 50$ пф (изменяем въздушен кондензатор). Клонът $C_a - C_p$ ще има капацитет също 50 пф (понеже общият кръгов капацитет е 100 пф).

Съгласно формула 72

$$\frac{C_a}{C_p} = K_{o.s} = 0,08, \text{ откъдето } C_a = 0,08 C_p$$

Понеже двата капацитета са последователно съединени

$$\frac{C_a \cdot C_p}{C_a + C_p} = \frac{0,08 C_p \cdot C_p}{0,08 C_p + C_p} = \frac{0,08 C_p}{1,08} = 50 \text{ пф,}$$

отгдето

$$C_p = \frac{1,08}{0,08} 50 = 675 \text{ пф. Капацитетът } C_a = 0,08 \cdot 675 = 54 \text{ пф.}$$

9. При клас С постояннотоквата съставна $I_{a=}$ се взема средно 1,8 пъти по-малко от I_{a1} ; следователно $I_{a=} = \frac{4,5}{1,8} = 2,5$ ма.

10. Правотоковата мощност $P_{a=} = I_{a=} E_a = 0,0025 \cdot 140 = 0,35$ вт.

11. Коефициентът на полезно действие на анодната верига

$$\eta = \frac{P_{a=}}{P_{a1}} = \frac{0,248}{0,35} = 0,7 = 70\%.$$

12. Определяме съпротивлението R_3 във веригата на екраниращата решетка. Приемаме $I_{p2} = 0,2 I_{a1} = 0,2 \cdot 2,5 = 0,5$ ма. В съпротивлението R_3 трябва да се угаси напрежение $140 - 60 = 80$ в.

Следователно $R_3 = \frac{80}{0,5} = 160$ кома (в знаменателя е $I_{p2} = 0,5$ ма).

13. Съпротивлението R_4 има предназначение да понижи напрежението на токоизправителя $E = 400$ в до стойност $E_a = 140$ в. През това съпротивление протича сборната правотокова съставна на емисионния ток.

$$I_{e=} = I_{a=} + I_{p2} = 2,5 + 0,5 = 3 \text{ ма.}$$

$$\text{Следователно } R_4 = \frac{400 - 140}{I_{e=}} = \frac{260}{0,003} = 86\,600 \text{ ома.}$$

Блоккондензаторът се избира с капацитет $C_{p2} = 1000$ пф.

14. Решетъчното отчетно съпротивление $R_{p1} = \frac{\text{преднапр. } E_p}{\text{тока } I_{p1}} =$

Правотоковата съставна на решетъчния ток е около 5% от I_{a1}

$$I_{p1} = 0,05 I_{a1} = 0,05 \cdot 2,5 = 0,125 \text{ ма} = 125 \text{ мка.}$$

При клас С преднапрежението на решетката е средно $60 \div 70\%$ от U_{p1} . Следователно в конкретния случай $E_p = (0,6 \div 0,7) 8,3$. Приемаме

$$E_p = 0,65 \cdot 8,3 = 5,4 \text{ в.}$$

Съпротивлението

$$R_{p1} = \frac{E_p}{I_{p1}} = \frac{5,4}{0,000125} = 43\,200 \text{ ома.}$$

15. За C_p приемаме стойност 100 пф.

16. Определяме номера на навивката, с която трябва да се свърже решетъчната верига на усилвателното стъпало през капацитета $C_{ср}$.

Понеже U_{p1} е 5 пъти по-малко от U_{a1} , следва в решетъчната верига да се включат $\frac{w}{5} = \frac{30}{5} = 6$ навивки.

17. Проверяваме дали ще се самовъзбуди автогенераторът. Изхождаме от формула 70, като се има предвид, че проникваемостта $D = 0,005$

$$K_{лин} = D + \frac{1}{S R_{екв}} = 0,005 + \frac{1}{1,8 \cdot 25,55} = 0,028.$$

Понеже действителният коефициент на обратната връзка $K_{o.s} = 0,08$ е по-голям от 0,028, автогенераторът сигурно ще се самовъзбуди.

18. Съгласно формула 75 капацитетът на разделителния кондензатор

$$C_{разд} \geq \frac{20}{2 \pi f R_{екв}} = \frac{20}{6,28 \cdot 3\,750\,000 \cdot 25\,550} = 40 \text{ пф.}$$

Закръгляваме: $C_{разд} \approx 100 \div 500$ пф.

19. Съгласно формула 76 индуктивността на високочестотния дросел е

$$L_{др1} > \frac{20 R_{екв}}{2 \pi f} = \frac{20 \cdot 25\,550}{23\,550\,000} = 0,022 \text{ хн} = 22 \text{ мхн.}$$

20. Индуктивното съпротивление на високочестотния дросел D_r в решетъчната верига на усилвателя трябва да бъде около 50 пъти по-голямо от индуктивното съпротивление на

6-те навивки от всичките 30 на $L_{кр}$. На стр. 106 се изчисли, че $X_L = 418 \text{ ома}$, сиреч $\frac{X_L}{5} = 83,6 \text{ ома}$.

$$X_{др} = 50,83,6 = 4180 \text{ ома.}$$

$$L_{др} = \frac{X_{др}}{2\pi f} = \frac{4180}{23550000} = 0,000150 \text{ хн} = 150 \text{ мкхн.}$$

Забележка. Такъв дросел може да се постави и в решетъчната верига на автогенератора: дроселът Dr_2 .

21. Капацитивното съпротивление на кондензатора за свързка между двете стъпала $C_{свр}$ трябва да бъде около 100 пъти по-малко от индуктивното на високочестотния дросел.

$$X_{свр} = \frac{X_{др}}{100} = \frac{4180}{100} = 41 \text{ ома,}$$

отгдето

$$C_{свр} = \frac{1}{41 \cdot 2\pi f} = \frac{1}{41 \cdot 6,28 \cdot 3750000} \approx 1000 \text{ пф.}$$

Забележка. Долната точка q на трептящия кръг не е заземена директно с шасито на апарата — между тази точка и шасито е включен високочестотен дросел Dr_2 . Предназначението му е да не допусне късо съединение между управляващата решетка и шасито и същевременно чрез него да се подаде възбуждащото напрежение $U_{p\sim}$ във входа на втората лампа (между решетка и катод). Индуктивността на този дросел е около 100 мкхн.

в) Изчисление мощността на токоизправителя

За усилвателя е необходима мощност 15,08 вт (вж. стр. 108). Сборният ток на автогенератора $I_{a\sim} + I_{p\sim} = 2,5 + 0,5 = 3 \text{ ма}$. Мощността на този ток е $P_{\sim} = 0,003 \cdot 400 = 1,2 \text{ вт}$. Общата мощност, доставена от токоизправителя, е

$$P_{\sim} = 15,08 + 1,2 = 16,28 \text{ вт.}$$

Общият изправен ток е $I_{a=ус} + I_{p2yc} + I_{e\sim} = 29 + 8,7 + 3 = 40,7 \text{ ма}$.

За токоизправителна лампа се избира кенотронът AZ11.

За отопление се изразходва мощност

$$\begin{aligned} \text{в лампа П-15: } & 4,8 \cdot 0,68 = 3,3 \text{ вт} \\ \text{в лампа СО-257: } & 2 \cdot 0,275 = 0,55 \text{ вт} \\ \text{в лампа AZ 11: } & 4 \cdot 1,1 = 4,4 \text{ вт} \end{aligned}$$

$$\text{Всичко за отопл.: } 8,25 \text{ вт}$$

Общата изразходвана мощност $P_{общ} = 16,28 + 8,25 = 24,53 \text{ вт}$. За загуби в трансформатор се добавят още 25%.

Следователно трансформаторът ще се изчисли за $24,53 \cdot 1,25 \approx 30 \text{ вт}$.

Данни за такъв трансформатор са дадени в таблици 1 и 2 (на стр. 55). При конструиране на трансформатора високоволтната вторична намотка трябва да е за напрежение $2 \times 500 \text{ в}$.

Като се сравни излъчената антенна мощност $P_A = 2 \text{ вт}$ с изразходваната от мрежата $P_{кр} = 30 \text{ вт}$, се установява, че к. п. д. на целия предавател е $\frac{2}{30} = 0,066 = 6,6\%$.

Е. РАДИОПРИЕМНИЦИ

1. ВХОДНИ ВЕРИГИ

При индуктивна връзка между антената и първия настроен трептящ кръг на приемника (рис. 23) антенният ток I_A индукира в кръга електродвижеща сила

$$E_{\sim} = I_A \omega M = \frac{E_A}{Z_{A.B}} \omega M. \quad (98)$$

В последното уравнение $Z_{A.B}$ е комплексното съпротивление на антенната верига, а E_A е електродвижещата сила в антената.

Индуктираната в кръга е.д.с. $E_{\sim}$ прокарва през същия кръг ток

$$I_{кр} = \frac{E_{\sim}}{R}, \quad (99)$$

който създава в кондензатора и бобината на кръга резонансно напрежение

$$U_C = U_L = U_{p\sim} = I_{кр} \cdot \omega L_{кр} = E_{\sim} \frac{\omega L_{кр}}{R} = E_{\sim} Q = \frac{E_A}{Z_{A.B}} \omega M Q. \quad (100)$$

Последното напрежение за първата усилвателна лампа на приемника се явява решетъчно променливо напрежение $U_{p\sim}$. Отношението между него и е.д.с. в антената се нарича резонансен коефициент на предаване

$$K_p = \frac{U_{p\sim}}{E_A} = Q \frac{\omega M}{Z_{A.B}}. \quad (101)$$

Този коефициент получава най-голяма стойност $K_{p, макс}$, когато внесено от антената в кръга съпротивление $\Delta R = \frac{\omega^2 M^2}{Z_{A.B}^2}$

е равно на кръговото загубно съпротивление $R_{кр}$:

$$\frac{\omega^2 M^2}{Z_{A.B}^2} R_{A.B} = R_{кр}. \quad (102)$$

От последния израз се определя стойността на оптималната взаимноиндуктивност

$$M_{opt} = \frac{Z_A}{\omega} \sqrt{\frac{R_{кр}}{R_{A.B}}} \quad (103)$$

Поради наличност на внесено съпротивление ΔR факторът на доброкачество Q се понижава

$$Q = \frac{\omega L_{кр}}{R_{кр} + \Delta R} \quad (104)$$

За различните честоти в обхвата резонансният коефициент на предаване може да се изчисли и с формулата

$$K_p = \frac{Q \cdot \kappa \cdot \sqrt{\frac{L_{кр}}{L_{ср}}}}{1 - \left(\frac{f_A}{f}\right)^2} \quad (105)$$

В тази формула f_A е собствената честота на антенната верига, f — работната честота, $L_{кр}$ — кръговата индуктивност, $L_{ср}$ — индуктивността за свързка, а κ — коефициентът на свързка, определен с израз

$$\kappa = \frac{M}{\sqrt{L_{кр} \cdot L_{ср}}} \quad (106)$$

Избирателността на входните вериги се определя с формулата

$$y = \frac{K}{K_p} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{2 \Delta f}{f}\right)^2}} \quad (107)$$

в която K е коефициентът на предаване за честотите, отстоящи на честотно отстояние Δf от резонансната честота f_p .

За $y = \frac{K}{K_p} = 0,7$ въз основа на формула 107 широчината $2 \Delta f$ на пропусканата честотна лента има стойност

$$2 \Delta f = \frac{f_p}{Q} \quad (108)$$

Задачи

152. Радиоприемникът, който обслужва изчисления на стр. 103 предавателя, има същата антена с $l = 8$ м, вълново съпротивление $Z_0 = 500$ ома и активно съпротивление $R_A = 4$ ома. Бобината за свързка има индуктивност $L_{ср} = 70$ мкхн и загубно

съпротивление $R_{ср} = 20$ ома. Радиоприемникът е настроен на вълната на предавателя $\lambda = 80$ м ($f = 3\,750\,000$ хц, $\omega = 23\,550\,000$). Входният кръг има индуктивност $L_{кр} = 20$ мкхн, $C_{кр} = 89$ пф и загубно съпротивление $R_{кр} = 5$ ома. Коефициентът на връзката между антенната верига и входния кръг е $\kappa = 8\%$. Да се определи коефициентът на предаване K_p и напрежението U_p , ако напрегнатостта на полето е $E = 10$ мкв/м.

Решение. Реактивното съпротивление на антенната е

$$X_A = -Z_0 \cotg\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot l\right) = -500 \cotg\left(\frac{6,28}{80} \cdot 8\right) = -685 \text{ ома.}$$

Това съпротивление е капацитивно (има отрицателен знак). Индуктивното съпротивление на бобината за свързка е

$$X_{ср} = \omega L_{ср} = 23\,550\,000 \cdot 0,00006 = 1413 \text{ ома.}$$

Общото реактивно съпротивление на антенната верига е

$$X_{A.B} = X_A + X_{ср} = 1413 + (-685) = 728 \text{ ома.}$$

Общото активно съпротивление на същата верига е

$$R_{A.B} = R_A + R_{ср} = 4 + 20 = 24 \text{ ома.}$$

Комплексното ѝ съпротивление е

$$Z_{A.B} = \sqrt{R_{A.B}^2 + X_{A.B}^2} = \sqrt{24^2 + 728^2} = 729 \text{ ома.}$$

Коефициентът на взаимноиндуктивност е

$$M = \kappa \sqrt{L_{ср} L_{кр}} = 0,08 \sqrt{0,00006 \cdot 0,000027} = 0,0000027 = 2,7 \text{ мкхн.}$$

Внесеното съпротивление е

$$\Delta R = \frac{\omega^2 M^2}{\frac{Z_{A.B}^2}{R_{A.B}}} = \frac{23\,550\,000^2 \cdot 0,0000027^2}{\frac{729^2}{24}} = \frac{4045}{22\,000} = 0,18 \text{ ома.}$$

Пълното активно съпротивление на кръга е

$$R = R_{кр} + \Delta R = 5 + 0,18 = 5,18 \text{ ома.}$$

Q -факторът е $Q = \frac{\omega L_{кр}}{R} = \frac{471}{5,18} = 91$.

Резонансният коефициент на предаване съгласно формула 101

$$K_p = Q \frac{\omega M}{Z_{A.B}} = 91 \frac{23\,550\,000 \cdot 0,0000027}{729} = 7,8.$$

Ефективната височина на антената $H_{ef} \approx 0,5 l = 0,5 \cdot 8 = 4 \text{ м}$.
Електродвижещата сила в антената $E_A = E_A H_{ef} = 10,4 = 40 \text{ мкв}$.
Съгласно формула 101 напрежението

$$U_{p-} = K_p E_A = 7,8 \cdot 40 = 312 \text{ мкв} = 0,312 \text{ мв.}$$

153. Да се определи максималният коефициент на предаване за входните вериги от предшествуващата задача 152.

Решение. Съгласно формула 103 оптималната взаимоиндуктивност

$$M_{опт} = \frac{Z_A}{\omega} \sqrt{\frac{R_{кр}}{R_{A,B}}} = \frac{729}{23\,550\,000} \sqrt{\frac{5}{24}} = 0,0000146 \text{ хн} = 14,6 \text{ мкхн.}$$

Вижда се, че $M_{опт}$ е около 5,5 пъти по-голям от $M = 2,7 \text{ мкхн}$.
Следователно и $K_{опт} = 5,5$ $\kappa = 5,5 \cdot 0,08 = 0,44 = 44 \%$.
Такъв голям коефициент $\kappa = 0,44$ може да се осъществи, ако бобината за свързка се навие върху кръговата бобина.

Максималният коефициент на предаване съгласно формула 101

$$K_{p, макс} = Q \frac{\omega M_{опт}}{Z_A}.$$

Качественият фактор Q при оптималната (най-добрата) връзка съгласно формула 104 при $\Delta R = R_{кр}$ е

$$Q = \frac{\omega L_{кр}}{\Delta R + R_{кр}} = \frac{471}{5 + 5} = 47,1.$$

$$K_{p, макс} = 47,1 \frac{23\,550\,000 \cdot 0,0000146}{729} = 22,2.$$

154. Да се определят граничните стойности на коефициента K_p за входните вериги от предните две задачи в честотния обхват $\lambda = 80 \div 50 \text{ м}$ (или за $f = 3\,750\,000 \div 6\,000\,000 \text{ хц}$).

Решение. За $\lambda = 80 \text{ м}$ коефициентът $K_p = 7,8$ (виж стр. 117).
За $\lambda = 50 \text{ м}$ коефициентът K_p се определя с формула 105.

Собствената честота на антенната верига $f_A = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{свп} \cdot C_A}}$.

C_A е еквивалентният капацитет на антената. Неговата стойност се определя чрез реактивното съпротивление

$$\frac{1}{\omega C_A} = X_A = -500 \cotg \left(\frac{5,28}{50} \cdot 8 \right) = -325 \text{ ома},$$

отгдето

$$C_A = \frac{1}{\omega X_A} = \frac{1}{6,28 \cdot 6\,000\,000 \cdot 325} = 0,0000000008 \text{ ф} = 80 \text{ пф.}$$

$$f_A = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{свп} \cdot C_A}} = \frac{1}{6,28 \sqrt{0,00006 \cdot 0,0000000008}} = 2\,300\,000 \text{ хц.}$$

$$K_p = \frac{Q \cdot \kappa}{1 - \left(\frac{f_A}{f}\right)^2} \sqrt{\frac{L_{кр}}{L_{свп}}} = \frac{91 \cdot 0,08}{1 - \left(\frac{2\,380\,000}{6\,000\,000}\right)^2} \sqrt{\frac{20}{60}} = 5.$$

Полученият резултат показва, че за по-късата вълна коефициентът на предаване се намалява.

155. Да се определи широчината на пропусканата честотна лента на входните вериги от задачи 152 и 153.

156. Да се определи коефициентът на предаване на същите входни вериги, ако антенната верига е настроена на вълната $\lambda = 80 \text{ м}$, т. е. ако се употреби бобина за свързка $L_{свп}$, която с антенния еквивалентен капацитет C_A обуславя честотата $f = 3\,750\,000 \text{ хц}$, съответстваща на $\lambda = 80 \text{ м}$. Коефициентът на свързката $K = 0,01$.

Упътване за решаване на задачата. Най-напред се определя $L_{свп}$, чието реактивно съпротивление трябва да бъде $X_{свп} = X_A = 685 \text{ ома}$. Изчислява се, че $L_{свп} = 29 \text{ мкхн}$. Такава бобина има и по-малко загубно съпротивление, примерно $R_{свп} = 10 \text{ ома}$. При по-малкия коефициент $K = 0,01$ и при по-малката индуктивност $L_{свп}$ се получава и по-малък коефициент $M = 0,235 \text{ мкхн}$.

Внесеното съпротивление $\Delta R = \frac{(\omega M)^2}{R_{A,B}} = \frac{5,52^2}{4 + 10} = 1,9 \text{ ома}$.

Следователно пълното активно съпротивление на кръга е

$$R = R_{свп} + \Delta R = 5 + 1,9 = 6,9 \text{ ома.}$$

Определя се стойността на Q -фактора:

$$Q = \frac{\omega L_{кр}}{R} = 68.$$

Коефициентът на предаване е $K = Q \frac{\omega M}{R_{A,B}} = 68 \cdot \frac{5,5}{14} = 26,6$.

Оптималната индуктивност е

$$M_{опт} = \frac{R_{A,B}}{\omega} \sqrt{\frac{R_{кр}}{R_{A,B}}} = \frac{14}{\omega} \sqrt{\frac{5}{14}} = 0,357 \text{ мкхн.}$$

На нея съответства внесено съпротивление $\Delta R = 5 \text{ ом}$ и $Q = 47,1$.
Коефициентът на предаване за оптималната връзка е

$$K_p = R \frac{\omega M}{R_{A.B}} = 47,1 \cdot \frac{8,4}{14} = 28,5.$$

2. РЕЗОНАНСЕН УСИЛВАТЕЛ

Когато във входа на високочестотна усилвателна лампа се подаде напрежението $U_{p\sim}$, в анодната й верига (в трептящия кръг) се създава анодното променливо напрежение $U_{a\sim}$. Резо-

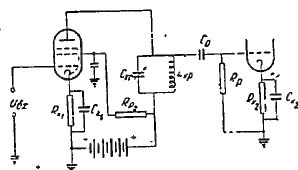


Рис. 62

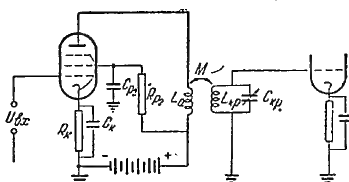


Рис. 63

нансният коефициент на усилване на стъпалото се определя с формулата

$$K_p = \frac{U_{a\sim}}{U_{p\sim}} = SZ_a \quad (109)$$

за схемата на рис. 62 (схема с непосредствено включен кръг).
За схемата с трансформаторно включен трептящ кръг (рис. 63)

резонансният коефициент на усилване се определя с формулата

$$K_p = SZ_a \cdot \frac{M}{L_{kp}} \quad (110)$$

При автотрансформаторна връзка с кръга (рис. 64) коефициентът на усилване е

$$K_p = S \cdot Z_a \frac{M + L_a}{L_{kp}} \quad (111)$$

В горните формули Z_a е импедансът на анодната верига, M — коефициентът на взаимноиндуктивност между анодната бобина L_a и кръговата L_{kp} при схемата на рис. 63, а при схемата на рис. 64 M е коефициентът на взаимноиндуктивност между частта L_a и частта L_{cp} на кръговата индуктивност.

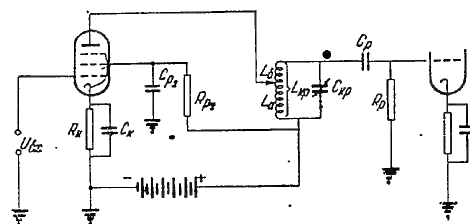


Рис. 64

Анодният импеданс Z_a се изчислява с познатата формула:

$$Z_a = \frac{L}{RC} \quad (112)$$

в която R представлява общото активно съпротивление на кръга: собственото R_k и внесеното ΔR . Последното се дължи на влиянието на усилвателната лампа (пентод), на влиянието на решетъчното отечно съпротивление и на влиянието на входното съпротивление на следващата лампа. Може да се приеме, че, средно взето, $\Delta R = 0,5 R_{kp}$, сиреч

$$R = 1,5 R_{kp}.$$

Избирателността се изчислява с формула 107, в сила и за входните вериги, а широчината на пропусканата честотна лента — с формулата

$$\Delta 2f = \frac{f_p}{Q} \left(1 + \frac{Z_a}{R_l} \right). \quad (113)$$

Когато високочестотният усилвател се състои от няколко стъпала, пълният резонансен коефициент на усилване K_p се равнява на произведението от коефициентите на усилване на отделните стъпала:

$$K_{p\text{общ}} = K_{p1} \cdot K_{p2} \dots K_{pn}. \quad (114)$$

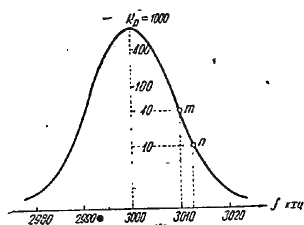


Рис. 65

Общата крива на избирателност (рис. 65) се установява чрез умножаване на величината $U_{\text{из}} = \frac{K}{K_p}$ на входните вериги със същата величина $U_{\text{с}}$ на усилвателя:

$$U_{\text{общ}} = U_{\text{вт}} \cdot U_{\text{ус}}. \quad (115)$$

Усилването на отделните стъпала, а също и пълното усилване може да се изрази и в децибели съгласно формулата

$$K_{\text{дб}} = 20 \log K_p \quad (116)$$

Също и отношението $U = \frac{K}{K_p}$,

изразяващо избирателността, може да се изрази с децибели; тук децибелите имат отрицателен знак, понеже отношението $\frac{K}{K_p}$ е по-малко от единица

$$U_{\text{дб}} = 20 \log \frac{K}{K_p}. \quad (116a)$$

Понеже резонансният усилвател е склонен към самовъзбуждане, коефициентът на усилване не трябва да надминава максималната стойност

$$K_{\text{уст}} \leq 0,63 \sqrt{\frac{S}{\omega C_{\text{ар}}}}. \quad (117)$$

наречена коефициент на най-голямото устойчиво усилване.

Задачи

157. Радиоприемникът, за който става въпрос в задача 152, има резонансен усилвател, изпълнен с пентода 2К2М, чиято стръмнина е $S = 0,95 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$, а $R_l = 1 \text{ M}\Omega$. Усилвателят е монтиран по схемата на рис. 62 и настроен на вълна $\lambda = 80 \text{ м}$ ($f = 3\,750\,000 \text{ Hz}$ или $\omega = 2\pi f = 23\,550\,000$). Кръгът в анодната верига е напълно еднакъв с входния кръг от задача 152: $L_{\text{кр}} = 20 \text{ мкХн}$, $C_{\text{кр}} = 89 \text{ пф}$ и $R_p = 5 \text{ ома}$. Да се определи резонансният коефициент на усилване и напрежението $U_{\text{ан}}$, ако решетъчното променливо напрежение има стойността, определена в задача 152: $U_{\text{р}} = 0,3 \text{ мВ}$.

Решение. Понеже във високочестотното отношение анодния трептящ кръг е шунтиран с вътрешното съпротивление на усилвателната лампа, с отчетното и входното съпротивление на следващата лампа, пълното активно съпротивление е с 50% по-голямо от $R_{\text{кр}}$:

$$R = 1,5 R_{\text{кр}} = 1,5 \cdot 5 = 7,5 \text{ ома}.$$

Анодният импеданс е

$$Z_a = \frac{L_{\text{кр}}}{R C_{\text{кр}}} = \frac{0,00002}{7,5 \cdot 0,000000000089} \approx 30\,000 \text{ ома} = 30 \text{ кома}.$$

Следователно $K_p = S \cdot Z_a = 0,95 \cdot 30 = 28,5$.

Напрежението $U_{\text{ан}} = K_p U_{\text{р}} = 28,5 \cdot 0,3 = 8,55 \text{ мВ}$.

158. Полученото в предшестващата задача усилване 28,5 пъти е малко за един пентод. Какво трябва да се направи, за да се увеличи коефициентът K_p ?

Отговор. Трябва да се увеличи стойността на Z_a чрез повишаване на $L_{\text{кр}}$ и понижаване на $C_{\text{кр}}$. Приемаме двойно по-голяма стойност $L_{\text{кр}} = 40 \text{ мкХн}$; за да се запази същата резонансна честота, необходимо е капацитетът $C_{\text{кр}}$ да се понижи два пъти: $C_{\text{кр}} = 44,5 \text{ пф}$. Понеже броят на навивките на кръговата бобина в този случай става повече (проводникът е

по-дълъг), затова загубното съпротивление се увеличава. Приемаме $R_{кр}=8$ ома. При новите елементи на кръга

$$Z_a = \frac{0,00004}{1,5 \cdot 8 \cdot 0,0000000000445} \approx 75\,000 \text{ ома} = 75 \text{ кома.}$$

Усилването $K_p = SZ_a = 0,95 \cdot 75 = 71,25$.

Напрежението $U_{a\sim} = K_p U_{p\sim} = 71,25 \cdot 0,3 = 21,4 \text{ мв.}$

159. Как ще се измени усилването на стъпалото и анодното променливо напрежение, ако вместо лампата 2К2М се употреби пентодът 6К7 с

$$S = 1,65 \frac{\text{мв}}{\text{в}}.$$

160. Да се определи честотната пропускателност на усилвателя от задачи 157 и 158.

Решение. При по-малката индуктивност $L_{кр}$ качественият фактор

$$Q = \frac{\omega L_{кр}}{R} = \frac{23\,550\,000 \cdot 0,00002}{7,5} = 63,$$

а при по-голямата индуктивност $L'_{кр} = 40 \text{ мкхн}$

$$Q' = \frac{23\,550\,000 \cdot 0,00004}{1,5 \cdot 8} = 78,5.$$

Широчината на пропусканата честотна лента в първия случай е

$$2\Delta f = \frac{f_p}{Q} \left(1 + \frac{Z_a}{R_i}\right) = \frac{3\,750\,000 \cdot 1,03}{63} = 61\,330 \text{ хц} \approx 61 \text{ кхц},$$

а във втория случай

$$2\Delta f' = \frac{3\,750\,000 \cdot 1,07}{78,5} = 51\,114 \text{ хц} \approx 51 \text{ кхц}.$$

Получените стойности за честотната пропускателност се отнасят само за усилвателя, взет сам за себе си. Като се вземе предвид и честотната пропускателност на входните вериги, общата пропускателност на високочестотната част на приемника става по-тясна от отделните честотни пропускателности.

Понеже входните вериги имат $Q_{ex}=91$, при тях

$$2\Delta f = \frac{3\,750\,000}{91} = 41\,200 \text{ хц} = 41,2 \text{ кхц}.$$

Следователно общата честотна пропускателност е по-малка от 41,2 кхц.

161. Да се определи общата честотна пропускателност (широчината на пропусканата честотна лента) на високочестотната част на приемника (входните вериги плюс високочестотния усилвател) от задача 158.

Решение. Избирателността на високочестотната част на приемника е равна на произведението от частичните избирателности $y_{ex} = \frac{K}{K_p}$ на входните вериги и y_{uc} на усилвателя (формула 115). Широчината на общата честотна пропускателност се определя от условието

$$y = y_{ex} \cdot y_{uc} = 0,7 = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

За търсената честотна лента $2\Delta f'$ коефициентът на избирателността y на входните вериги съгласно формула 107 е

$$y_{ex} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{2\Delta f'}{f_p}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta f'}{f_p}\right)^2}}.$$

Понеже $\frac{f_p}{Q} = 2\Delta f = 41,2 \text{ кхц}$ (виж задача 160), последната формула се видоизменя така

$$y_{ex} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta f'}{41,2}\right)^2}} = \frac{\varepsilon_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\Delta f'}{20,6}\right)^2}}.$$

За същата търсена честотна лента $2f'$ същият коефициент y_{uc} на усилвателя е

$$y_{uc} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta f'}{f_p}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta f'}{61}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\Delta f'}{30,5}\right)^2}},$$

отгдето

$$y = y_{ex} \cdot y_{uc} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\Delta f'}{20,6}\right)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\Delta f'}{30,5}\right)^2}}.$$

От последното уравнение чрез повдигане на квадрат се намира стойността на $\Delta f'$ (половината честотна лента), а именно

$$\Delta f' = 14 \text{ кхц или } 2\Delta f' = 28 \text{ кхц}.$$

За един радиоприемник такава пропускана честотна лента е твърде широка, а избирателността — недостатъчна. За да се стесни честотната пропускателност до 9 кхц, е необходимо или да се повишат Q факторите на двата кръга, или пък да се увеличи броят на кръговете.

162. Резонансният усилвател от задача 158 да се преконструира в схемата на рис. 63 при анодна бобина за свързка $L_a = 10$ мкхн и коефициент на връзката $k = 0,5$. Да се определи коефициентът на усилването K_p и пропусканата честотна лента $2\Delta f$.

Решение. Усилването на стъпалото се определя с формула 110

$$K_p = S \cdot Z_a \frac{M}{L_{kp}}$$

$$\text{Коефициентът } M = k \sqrt{L_p \cdot L_{kp}} = 0,5 \sqrt{10 \cdot 20} = 7 \text{ мкхн.}$$

$$\text{Следователно } K_p = S Z_a \frac{M}{L_{kp}} = 0,95 \cdot 75 \cdot \frac{7}{20} = 25$$

$$\text{и } U_{a-} = K_p U_{p-} = 25 \cdot 0,3 = 7,5 \text{ мв.}$$

При трансформаторно свързване на кръга към анодната верига внесено съпротивление ΔR се намалява; нека приемем, че $\Delta R = 1$ ом; следователно общото активно съпротивление на кръга $R = R_{kp} + \Delta R = 8 + 1 = 9$ ома.

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{23550000 \cdot 0,00004}{9} = 105.$$

$$Z_a = \frac{0,00004}{9 \cdot 0,000000000445} = 100000 \text{ ома} = 100 \text{ кома.}$$

Широчината на пропусканата честотна лента е

$$2\Delta f = \frac{f_p}{Q} \left(1 + \frac{Z_a}{R_i}\right) = \frac{3750000}{105} \left(1 + \frac{100}{1000}\right) = 39300 \text{ хц} \approx 39 \text{ кхц.}$$

Като се сравни последният резултат с широчината $2\Delta f = 51$ кхц от задача 160 при непосредствено включен кръг (схемата от рис. 62), се вижда, че благодарение на по-слабото (трансформаторното) свързване на кръга към лампата избирателността се е увеличила, а честотната пропускателност — стеснила.

163. Радиолюбителят отново преконструира високочестотния усилвател, като премахва бобината за свързка L_a и свързва анодния проводник между средата и горния край на кръговата

бобина L_{kp} така, че в анодната верига се включват 75% от всички навивки. Между частта от кръговата бобина със 75% навивки и останалата част от същата бобина има коефициент на взаимноиндуктивност $M = 2$ мкхн. Да се определи коефициентът на усилването на стъпалото, което в дадения случай е изпълнено по схемата на рис. 64.

164. Да се определи в децибели общото високочестотно усилване на входящия сигнал от задачи 152 и 158.

Решение. В задача 152 се изчисли, че коефициентът на предаване (усилването на сигнала) е $K_p = 7,8$, а усилвателният коефициент на резонансният усилвател от задача 158 е $K_p = 71,25$. Следователно общото усилване на входящия сигнал е

$$K_{\text{общ}} = K_{p, \text{ав.}} K_{p, \text{ус}} = 7,8 \cdot 71,25 = 555,8.$$

Съгласно формула 116 общото усилване в децибели е

$$K_{\text{общ}} = 20 \log 555,8 = 20 \cdot 2,744 = 54,88 \approx 55 \text{ децибела.}$$

165. Кривата на общата избирателност на високочестотната част на един радиоприемник е дадена на рис. 65. Тази крива показва, че напряжението с резонансна честота 3000 кхц е усилено 1000 пъти, а напряженията с по-ниска и с по-висока честота от резонансната са усилены по-слабо. Да се определи в децибели отслабването на смущаващия сигнал с честота 3010 кхц, отстоящ на честотно отклонение $\Delta f = 10$ кхц от резонансната честота.

Решение. Според формула 116 а усилването на смущаващия сигнал, сравнено с усилването на полезния сигнал с резонансна честота $f_p = 3000$ кхц, е

$$U_{(00)} = 20 \log \frac{K}{K_p} = 20 \log \frac{40}{1000} = 20(-1,4) = -28 \text{ дб.}$$

Следователно смущаващият сигнал е с 28 децибела по-слабо усилен от полезния или все едно избирателността на приемника е минус 28 децибела. Тази избирателност е далеч недостатъчна, защото съвременните късовълнови радиоприемници трябва да имат избирателност най-малко -50 дб.

166. Колко пъти трябва да се увеличи отношението между полезния и смущаващия сигнал от предшестващата задача 165, за да се постигне желаната избирателност $U = -50$ дб?

Решение. Съгласно формула 116а

$$U_{(00)} = 20 \log \frac{K}{K_p} = -50,$$

отгдето намираме, че $\log \frac{K}{K_p} = -\frac{50}{20} = -2,5$.

На последния логаритъм съответствува отношение

$$\frac{K_p}{K} = 300 \text{ или } \frac{K}{K_p} = \frac{1}{300},$$

което означава, че смущаващият сигнал трябва да бъде усилен 300 пъти по-слабо от полезния (резонансния) сигнал.

Съгласно кривата на рис. 65 смущаващият сигнал с честота $f = 3010 \text{ кГц}$ е усилен $\frac{1000}{40} = 25$ пъти по-слабо в сравнение с резонансния сигнал. Следователно отношението между полезния и смущаващия сигнал трябва да се увеличи още $\frac{300}{25} = 12$ пъти. Това може да се постигне с втори третият кръг във входните вериги или пък да се употреби още едно високочестотно усилвателно стъпало със избирателност

$$y = 20 \log \frac{K}{K_p} = 20 \log \left(\frac{1}{12} \right) = -21,6 \approx -22 \text{ дБ.}$$

167. Да се определи с помощта на кривата на избирателността на рис. 65 с колко децибела по-слабо се усилява сигнала с честота $f = 3012,5 \text{ кГц}$.

168. Да се определи най-голямото устойчиво усиление на резонансния усилвател от задача 158, изпълнен с лампа 2К2М (пентод), имащ $S = 0,95 \frac{\text{мА}}{\text{В}}$ и междueleктроден кондензатор $C_{ap} = 0,02 \text{ пФ}$ за честотата $f = 3\,750\,000 \text{ Хц}$ или $\omega = 23\,550\,000 \frac{1}{\text{сек}}$.

Решение. Устойчивото усиление се определя с формула 117

$$K_{уст} = 0,63 \sqrt{\frac{S}{\omega C_{ap}}} = 0,63 \sqrt{\frac{0,00095}{23\,550\,000 \cdot 0,00000002}} = 27.$$

При условията на задача 158 се получи усиление $K_p = 71,25$; следователно усилвателят от тази задача има неустойчиво усиление. За да се установи дали този усилвател ще се самовъзбуди, необходимо е да се направи проверка със следната формула

$$\omega C_{ap} S Z_a^2 < 2. \quad (118)$$

Неравенството от последната формула е условие за липса на самовъзбуждане на усилвателя. В тази формула Z_a е анодния импеданс на лампата, равен на импеданса на входния трептящ кръг

$$\omega C_{ap} S Z_a^2 = 23\,550\,000 \cdot 0,0000000000002 \cdot 0,00095 \cdot 75^2 = 2,48.$$

Понеже се получи число, по-голямо от 2, усилвателят ще се самовъзбуди. За да не се самовъзбуди, необходимо е двата трептящи кръга да имат по-малък импеданс Z_a (да имат по-малка индуктивност и по-голям капацитет). Нека например да проверим усилвателя от задача 157 с $Z_a = 30 \text{ кома}$. Като се постави тази стойност на Z_a във формула 118, получава се числото 0,24, което е по-малко от 2. Следователно този усилвател няма да се самовъзбуди. Понеже неговият коефициент на усиление $K_p = 28,5$ е почти равен на $K_{уст} = 27$, трябва да се заключи, че той не само че няма да се самовъзбуди, но и ще усилява устойчиво.

169. Да се провери дали ще се самовъзбуди усилвателят от задача 168 и дали ще усилява устойчиво, ако вместо пентода 2К2М се употреби пентодът 6К7, имащ по-голяма стръмнина $S = 1,65 \frac{\text{мА}}{\text{В}}$ и по-малък капацитет $C_{ap} = 0,003 \text{ пФ}$, а трептящите кръгове са с големия импеданс $Z_a = 75 \text{ кома}$.

3. ДЕТЕКТОРИ

Токът, който се създава при работата на всеки детектор, се състои от три съставки: постояннотокова съставка $I_{пк}$, променливотокова съставка с ниска честота $I_{н,ч}$ и променливотокова съставка с висока честота $I_{в,ч}$.

$$I_D = I_{пк} + I_{н,ч} + I_{в,ч} \quad (119)$$

Постояннотоковата съставка създава в товарното съпротивление R (рис. 66) отрицателно автоматично напрежение (автоматична поляризация)

$$E = I_{пк} \cdot R. \quad (120)$$

Променливотоковата съставка с ниска честота създава в същото товарно съпротивление желаното нискофестотно напрежение

$$U_{н,ч} = I_{н,ч} \cdot R, \quad (121)$$

а високочестотната съставка $I_{в,ч}$ затваря накъсо веригата си през шунтиращия капацитет C (рис. 66).

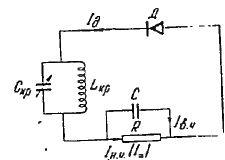


Рис. 66

Всеки детектор трябва да отговаря на следните изисквания:
1. Да има достатъчно голям коефициент на предаване

$$K = \frac{U_{н.ч.}}{m U_{в.ч.}} \quad (122)$$

В тази формула $U_{н.ч.}$ е амплитудата на произведеното ниско-честотно напрежение, m — коефициентът на модулация на входящия сигнал, а $U_{в.ч.}$ — амплитудата на напрежението (високочестотно) на този сигнал.

2. Да има хоризонтална честотна характеристика (рис. 67), сиреч детекторът да работи без линейни (честотни) изкривявания или със слаби изкривявания.

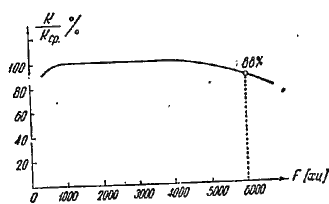


Рис. 67

3. Да има малки нелинейни изкривявания. При квадратичния детектор степента на нелинейните изкривявания се определя с формулата

$$K_f = \frac{m}{4} \quad (123)$$

в която K_f е коефициентът на нелинейните изкривявания (клир-факторът), който представлява отношение между амплитудата на токовата съставна с двойна честота $2\Omega = 2(2\pi F)$ и амплитудата на съставната с основна честота $\Omega = 2\pi F$ (полезната съставна):

$$K_f = \frac{U_{2\Omega}}{U_{\Omega}} = \frac{U_{2F}}{U_F} \quad (124)$$

Последната зависимост е в сила за синусоидално модулирано напрежение при наличие само на хармоничната $2F$.

Посочените нелинейни изкривявания се дължат на нелинейната детекторна характеристика. Друг източник на нелинейни изкривявания е групата RC (рис. 66). За да не се породят изкривявания по тази линия, необходимо е да се спазва условието

$$RC < \frac{\sqrt{1-m^2}}{m\Omega} \quad (125)$$

4. Да има възможно по-голямо входно съпротивление

$$R_{вх} = \frac{U_{в.ч.}}{I_{в.ч.}} \quad (126)$$

При решетъчния и диодния детектор в последователна схема (рис. 68, а и 70, а) входното съпротивление се определя с формулата

$$R_{вх} = \frac{R}{2} \quad (127)$$

а при детекторите с паралелна схема (рис. 68, б и 70, б)

$$R_{вх} = \frac{R}{3} \quad (128)$$

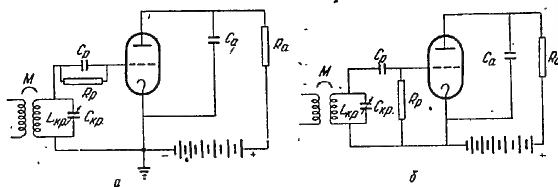


Рис. 68

Задачи

170. Резонансният усилвател от задача 162 подава изходящото си напрежение $U_{в.ч.} = U_{в.ч.} = U_{изх.} = 1,5$ мВ на решетъчен детектор, изпълнен по схемата на рис. 68, а. Напрежението е модулирано с $m = 80\%$. Коефициентът на предаване на решетъчната верига, взета като детекторна, е $K_p = 0,9$. Отгичното решетъчно съпротивление е $R_p = 1$ мгом. Да се определят: ниско-честотното напрежение в R_p , автоматичното напрежение E_p , трите съставни на решетъчния ток $I_{p.ч.}$, $I_{н.ч.}$ и $I_{в.ч.}$ и входното съпротивление на детектора.

Решение. Амплитудата на изходящото нискочестотно напрежение (за решетъчната верига) съгласно формула 122 е

$$U_{p,n,n} = K_m U_{a,n} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 7,5 = 5,4 \text{ мв.}$$

Това нискочестотно напрежение е създадено от нискочестотен ток през R_p

$$I_{p,n,n} = \frac{U_{p,n,n}}{R_p} = \frac{0,0054}{1000000} = 0,0000000054 \text{ а} = 0,0054 \text{ мка.}$$

Автоматичното преднапрежение обикновено се равнява на 90 ÷ 95% от амплитудата на входящото високочестотно напрежение: приемаме

$$E_p = 0,95 \cdot U_{a,n} = 0,95 \cdot 7,5 = 7,1 \text{ мв.}$$

Това напрежение е създадено от протичащия през R_p постоянен ток

$$I_p = \frac{E_p}{R_p} = \frac{0,0071}{1000000} = 0,0000000071 \text{ а} = 0,0071 \text{ мка.}$$

Съгласно формула 127 входното съпротивление е

$$R_{ex} = \frac{R_p}{2} = \frac{1000000}{2} = 500000 \text{ ома.}$$

Следователно съгласно формула 126 амплитудата на високочестотния ток е

$$I_{a,n} = \frac{U_{a,n}}{R_{ex}} = \frac{0,0075}{500000} = 0,000000015 \text{ а} = 0,015 \text{ мка.}$$

171. Как от изчисленияте в предшествуващата задача величини ще се изменят, ако решетъчният детектор се изпълни според схемата на рис. 68, б?

Отговор. Ще се изменят само R_{ex} и I_{ex} , а именно: съгласно формула 128 $R_{ex} = \frac{R_p}{3} = \frac{1000000}{3} = 333333 \text{ ома};$

$$I_{a,n} = \frac{U_{a,n}}{R_{ex}} = \frac{0,0075}{333333} = 0,000000025 \text{ а} = 0,025 \text{ мка.}$$

172. Да се определи коефициентът на предаване на решетъчните детектори от задачи 169 и 170, ако те са изпълнени с триод, имащ $R_a = 20 \text{ кОм}$, $D = 0,05$, а външното съпротивление (товарното) $R_c = 80 \text{ кОм}$. Колко голямо е изходящото напрежение на детектора?

Решение. Произведеното в решетъчната верига на детектора нискочестотно напрежение $U_{p,n,n} = 5,4 \text{ мв}$ се усилва от детекторната лампа при коефициент

$$K_{ye} = \frac{1}{D} \frac{R_a}{R_i + R_a} = \frac{1}{0,05} \frac{80}{20 + 80} = 16.$$

Анодното променливо напрежение (изходящо за детектора) е

$$U_{a,n} = U_a = K_{ye} \cdot U_{p,n,n} = 16 \cdot 5,4 = 86,4 \text{ мв.}$$

Коефициентът на предаване на целия детектор съгласно формула 122

$$K = \frac{U_{a,n}}{U_{p,n,n}} = \frac{86,4}{5,4} = 16,4.$$

173. Нискочестотното напрежение, което се получи на изхода на детектора от предшествуващата задача, е твърде ниско и за неговото по-нататъшно усилване са необходими две нискочестотни усилвателни стъпала. Затова радиолюбителят решава да прекопструира детектора си в регенеративен според схемата на рис. 69, за да употреби само едно нискочестотно стъпало. Да се изчисли колко пъти ще се увеличи усилването на стъпалото, ако между кръговата бобина $L_{kp} = 40 \text{ мкХн}$ (виж задачи 158 и 172) и бобината за обратна връзка съществува коефициент $M = 0,5 \text{ мкХн}$, а под влияние на детектора (на входното му съпротивление) активно съпротивление на кръга е пораснало от 9 на 12 ома.

Решение. Нарастването на усилването се определя с формулата

$$\frac{K_{reg}}{K_{ye}} = \frac{1}{1 - SM} \quad (129)$$

Стръмнината на лампата съответно на данните от задача 172 е

$$S = \frac{1}{D \cdot R_i} = \frac{1}{0,05 \cdot 20000} = 0,001 \frac{\text{а}}{\text{с}} = 1 \frac{\text{мв}}{\text{с}}.$$

$$\text{Величината } \frac{SM}{RC} = \frac{0,001 \cdot 0,00000005}{12 \cdot 0,000000000445} = 0,93.$$

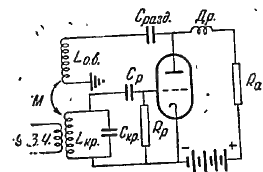


Рис. 69

Понеже усилването без обратна връзка е $K_{yc} = 16$, при наличност на такава то ще порасне съгласно формула 129

$$\frac{1}{1 - \frac{SM}{RC}} = \frac{1}{1 - 0,93} = 14 \text{ пъти,}$$

което означава, че регенеративният детектор ще усилва $14,16 = 224$ пъти. Следователно изходящото му напрежение ще бъде

$$U_{a_{\sim}} = K_{reg} U_{F_{H.M.}} = 224 \cdot 5,4 = 1209,6 \text{ мВ} = 1,2 \text{ в.}$$

174. Детекторът от задачи 170 и 172 има нелинейна детекторна характеристика с квадратичен характер. Да се определи амплитудата на изходящото напрежение с хармоничната честота $2F$.

Решение. Съгласно формула 123 коефициентът на нелинейното изкривяване, предизвикано от втората хармонична $2F$, е

$$K_f = \frac{m}{4} = \frac{0,8}{4} = 0,2 = 20 \%$$

Следователно съгласно формула 124 и при $U_F = 86,4 \text{ мВ}$

$$U_{2F} = K_f \cdot U_F = 0,2 \cdot 86,4 = 17,8 \text{ мВ.}$$

175. Честотната характеристика на детектора от задачи 170 и 172 има очертанието, показано на рис. 67. Изходящото напрежение в задача 172 с амплитуда $U_{H.M.} = 86,4 \text{ мВ}$ има честота $F = 1000 \text{ Хц}$. Да се определи амплитудата на изходящото височестотно напрежение, ако височестотният сигнал е модулиран с напрежение с честота $F = 6000 \text{ Хц}$ при същия коефициент на модулацията $m = 0,8 = 80 \%$.

Решение. От рис. 67 се вижда, че коефициентът на предаване K за честотата $F_2 = 6000 \text{ Хц}$ има стойност 88% от коефициента на предаване за $F_1 = 1000 \text{ Хц}$. Следователно

$$K_{yc} = 14,4 \cdot 0,88 = 12,7 \text{ и}$$

$$U_2 = 12,7 \cdot 5,4 = 68,58 \text{ мВ.}$$

176. Колко най-голяма трябва да бъде допустимата стойност на съпротивлението R на диодния детектор на рис. 70, а и 70, б, за да не се получат нелинейни изкривявания при $m = 0,8$, при $C = 100 \text{ пФ}$ и при $F_1 = 1000 \text{ Хц}$ и $F_2 = 5000 \text{ Хц}$?

Решение. За $\Omega_1 = 2\pi F_1 = 6,28 \cdot 1000 = 6280 \frac{1}{\text{сек}}$ съгласно формула 125

$$R_1 \leq \frac{\sqrt{1-m^2}}{m \Omega_1 C} = \frac{\sqrt{1-0,8^2}}{0,8 \cdot 6280 \cdot 0,0000001} = 1185000 \text{ ома.}$$

$$\text{За } \Omega_2 = 2\pi F_2 = 6,28 \cdot 5000 = 31400 \frac{1}{\text{сек}}$$

$$R_2 \leq \frac{\sqrt{1-0,8^2}}{0,8 \cdot 31400 \cdot 0,0000000001} = 240000 \text{ ома} = 240 \text{ кома.}$$

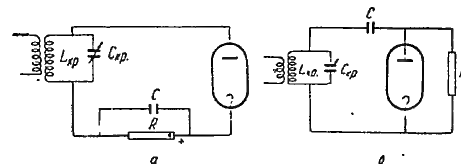


Рис. 70

Понеже нискочестотният сигнал съдържа и ниски, и високи звукови честоти, избира се по-малката стойност $R = 240 \text{ кома}$, като се закръглява на 250 кома .

177. Входящият сигнал в диодния детектор на рис. 70, показан на екрана на осцилографа, има вида на рис. 71 при максимална амплитудна стойност $U_{max} = 3,2 \text{ в}$ и минимална $U_{min} = 0,8 \text{ в}$. Да се определи амплитудата на изходящото нискочестотно напрежение, ако коефициентът $K = 0,9$.

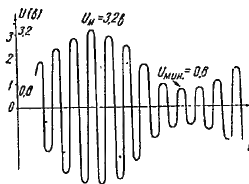


Рис. 71

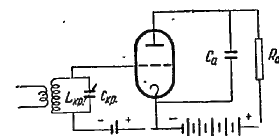


Рис. 72

178. Входящият височестотен сигнал от задача 177 се подава на аноден детектор на рис. 72, имащ коефициент на предаване $K = 2,5$. Да се определи амплитудата на анодното променливо напрежение на детектора.

179. Защо коефициентът K на анодния детектор от задача 178 е по-голям от 1, а същият коефициент на диодния детектор от задача 177 е по-малък от 1.

180. Защо коефициентът на предаване на решетъчния детектор от задача 172, а именно $K=14,4$ е много по-голям от същия коефициент при анодния детектор от задача 178?

4. НИСКОЧЕСТОТНИ УСИЛВАТЕЛИ

а) Общи положения

Всеки нискочестотен усилвател се характеризира с коефициент на усилване

$$K = \frac{U_{изх}}{U_{вх}} \quad (130)$$

В широкия нискочестотен обхват усилването е честотно зависимо — това се изразява с коефициента на неравномерност N (коефициент на честотни изкривявания), представляващ отношение между коефициента на усилване на граничните (най-висока и най-ниска) звукови честоти и коефициента на усилване на средните звукови честоти ($F_{ср} \approx 800 \div 1000$ хц):

$$N = \frac{K_{гп}}{K_{ср}} \quad (131)$$

Усилването и неравномерността на същото по обхвата могат да се изразят и с децибели — с формула 116, когато се отнася за степен на усилване на напрежение и с формулата

$$K = 10 \log \frac{P_{изх}}{P_{вх}} \text{ и } N = 10 \log \frac{P_{гп}}{P_{ср}}, \quad (132)$$

когато се изразява усилването на нискочестотна мощност.

С децибели се изразява и нивото на усиленото или неусилено нискочестотно напрежение

$$S_{дб} = 20 \log \frac{U}{0,775} = 20 \log 1,29 U. \quad (133)$$

В последната формула $U_0 = 0,775$ в е нулевото напрежително ниво, с което се сравнява даденото напрежение.

С децибели може да се изрази и нивото на каква да е нискочестотна мощност:

$$S_{дб} = 10 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \frac{P}{0,001}. \quad (134)$$

В този случай за нулево ниво на мощността се приема мощността $P_0 = 1 \text{ мвт} = 0,001 \text{ вт}$, получена в съпротивление $R = 600 \text{ ома}$.

Задачи

181. Произведеното от решетъчния детектор от задача 172 нискочестотно напрежение $U_{н.ч} = 86,4 \text{ мв}$ се подава за усилване в пентоден усилвател; в анодната верига на същия се получава изходящо напрежение $U_{изх} = 4,3 \text{ в}$. Да се определи усилването на съпалото и напрежителното ниво на изходящия сигнал.

Решение. Усилването, изразено в децибели, съгласно формула 116

$$K = 20 \log \frac{4,3}{0,086} = 20,1699 \approx 34 \text{ дб}.$$

Напрежителното ниво на входящия сигнал съгласно формула 133 е

$$S_{вх} = 20 \log \frac{0,086}{0,775} = -19 \text{ дб}.$$

Напрежителното ниво на изходящия сигнал е

$$S_{изх} = 20 \log \frac{4,3}{0,775} = +15 \text{ дб}.$$

Последните два резултата показват, че действително съпалото усилва $15 - (-19) = 34 \text{ дб}$.

182. За усилвателите от 1-ви клас се допуска честотна пропускателност от $50 \div 60 \text{ хц}$ до $6500 \div 8000 \text{ хц}$ при неравномерност в усилването 1,25 пъти; при усилвателите от 2-ри клас неравномерността е по-голяма — 1,4 пъти; а усилвателите от 3-ти клас имат неравномерност 1,8 пъти. Да се изчисли неравномерността на тези усилватели в децибели.

Решение. Посочената неравномерност $N = 1,25, 1,4$ и $1,8$ съгласно формула 131 трябва да се разбира, че за граничните честоти усилването е 1,25 (1,4 или 1,8) пъти по-малко от усилването на напреженията със средни честоти. Съгласно формула 116 усилвателят от 1-ви клас има неравномерност

$$N = 20 \log 1,25 = 20,0969 \approx 2 \text{ дб};$$

за усилвателя от 2-ри клас $N = 20 \log 1,4 \approx 3 \text{ дб};$

за усилвателя от 3-ти клас $N = 20 \log 1,8 \approx 5 \text{ дб}.$

183. Микрофонът на една усилвателна уредба произвежда 10 *мвт* нискофестотна мощност, а крайното, стъпало на същата уредба — 100 *вт* мощност. Да се определи нивото на входящата и изходящата мощност и степента на усилване.

Решение: Съгласно формула 134 нивото на входящата мощност е

$$S = 10 \log \frac{0,00001}{0,001} = 10 (-2) = -20 \text{ дб.}$$

Нивото на изходящата мощност е $S = 10 \log \frac{100}{0,001} = +50 \text{ дб.}$

Степента на усилването на нискофестотния сигнал е

$$K = 10 \log \frac{100}{0,00001} = 70 \text{ дб} = +50 - (-20).$$

184. Степента на усилване на една усилвателна уредба е 60 дб. Изходящото напрежение е 100 в. Колко голямо е входящото напрежение?

б) Нискофестотни усилватели на напрежение

Усилването на напрежения със средни звукови честоти (800—1000 *хц*) за триоден усилвател със съпротивление (рис. 73)

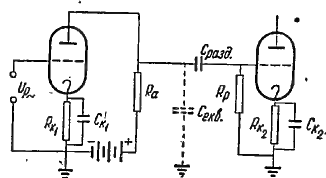


Рис. 73

се изчислява с формула 62, а усилването с пентоден усилвател — със формулата

$$K_{cp} = S R_a. \quad (135)$$

При триоден предусилвател

$$R_a = (5 \div 10) R_i, \quad (136)$$

а при пентоден

$$R_a = (0,05 \div 0,1) R_i. \quad (137)$$

Решетъчното, отчетно съпротивление R_p на следващата лампа се определя с формулата

$$R_p = (3 \div 10) R_a. \quad (138)$$

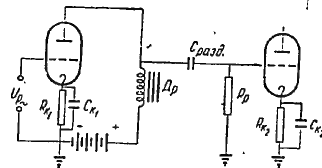


Рис. 74

Коефициентът на усилване на средните честоти на дроселния предусилвател (рис. 74) се определя с формулата

$$K_{cp} = \frac{1}{D} = \mu, \quad (139)$$

а усилването на същите честоти при трансформаторния предусилвател (рис. 75) — с формулата

$$K_{cp} = \mu \mu, \quad (140)$$

където $\mu = \frac{w_2}{w_1}$ е преводното отношение на трансформатора със стойност, по-голяма от единица.

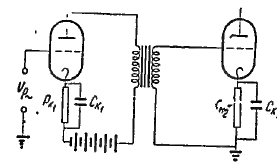


Рис. 75

Големината на разделителния кондензатор на реостатния предусилвател (рис. 73) може да се изчисли с уравнението

$$F_n = \frac{1}{2\pi C_{разд} R_p}. \quad (141)$$

В това уравнение F_n е долната гранична честота, за която усиляването K става $\sqrt{2}=1,41$ пъти по-малко от усиляването на средните честоти.

Горната гранична честота (при триоден предусилвател) се изчислява с формулата

$$F_s = \frac{1}{2\pi R_i C_{екв}}, \quad (142)$$

а за пентодния реостатен предусилвател — с уравнението

$$F_s = \frac{1}{2\pi R_a C_{екв}}. \quad (143)$$

За да не се получи решетъчен ток, максималната амплитуда на възбудителното напрежение (при триоден предусилвател) трябва да отговаря на условието

$$U_{p, макс} = \frac{D E_a}{2} - 1. \quad (144)$$

Необходимото решетъчно напрежение E_p (за триодния предусилвател) се изчислява с формулата

$$E_p = -\frac{D E_a}{2}. \quad (145)$$

Задачи

185. Триоден предусилвател е изпълнен със съветската лампа УБ240 (ново означение 2С2), която има вътрешно съпротивление $R_i=17$ кома и проницаемост $D=0,045$. Долната гранична честота $F_n=20$ хц, а сборният паралелен капацитет (лампови капацитети плюс монтажния капацитет) $C_{екв}=50$ пф. Усилвателят е изпълнен по схемата на рис. 73. Да се определят елементите на стъпалото и стойностите на коефициента на усиление за средните и за двете гранични честоти.

Решение. Товарното съпротивление съгласно формула 137 е

$$R_a = R_i (5 \div 10) = (5 \div 10) 17 = 85 \div 170 \text{ кома.}$$

Избираме междинната стойност: $R_a=100$ кома.

Решетъчното отечно съпротивление според формула 138 е

$$R_p = (3 \div 10) R_a = (3 \div 10) \cdot 100 = 300 \div 1000 \text{ кома.}$$

Избираме междинната стойност $R_p=700$ кома.

Капацитетът на разделителния кондензатор се определя с формула 141:

$$C_p = \frac{1}{2\pi F_n R_p} = \frac{1}{6,28 \cdot 20 \cdot 700\,000} = 0,000000115 \text{ ф} = 11\,500 \text{ пф.}$$

Коефициентът на усиление за средните честоти съгласно формула 62 е

$$K_{cp} = \frac{1}{D} \frac{R_a}{R_i + R_a} = \frac{1}{0,045} \frac{100}{17 + 100} = 19,5.$$

Съгласно формула 142 горната гранична честота е

$$F_s = \frac{1}{2\pi R_i C_{екв}} = \frac{1}{6,28 \cdot 17\,000 \cdot 0,0000000005} = 188\,000 \text{ хц.}$$

Усиляването на напреженията с гранични честоти е 1,41 пъти по-малко от усиляването на средните честоти:

$$K_{F_n} = K_{F_s} = \frac{19,5}{1,41} = 13,3.$$

186. Да се изчисли максималната амплитуда на решетъчното променливо напрежение $U_{p, макс}$ за предусилвателната лампа от задача 185, ако напрежението на анодния токонизточник е $E_a=120$ в. Да се определи и съответното решетъчно преднапрежение E_p и изходящото анодно напрежение $U_{a,}$.

Решение. Съгласно формула 144

$$U_{p, макс} = \frac{D E_a}{2} - 1 = \frac{0,045 \cdot 120}{2} - 1 = 1,7 \text{ в,}$$

а според формула 145

$$E_p = \frac{D E_a}{2} = \frac{0,045 \cdot 120}{2} = -2,7 \text{ в.}$$

Изходящото максимално напрежение за средните честоти е

$$U_{a,} = U_{p,} \cdot K_{cp} = 1,7 \cdot 19 = 32,3 \text{ в.}$$

187. Да се определят елементите на предусилвателя по схемата на рис. 73, изпълнен със съветския високоомен триод 6Ф5, който има много малка проницаемост $D=0,01$ и вътрешно съпротивление $R_i=66$ кома, и се захранва с по-високо напрежение, отколкото триода УБ240, а именно $E_a=250$ в.

Решение. Понеже R_i е твърде голямо, за R_a съгласно формула 136 избираме долната граница

$$R_a = 5.66 = 330 \text{ кома.}$$

Закръгляваме $R_a = 300 \text{ кома.}$

Отгечното съпротивление все по същата причина съгласно формула 138

$$R_p = 3.3 R_a = 3.3 \cdot 300 \approx 1000 \text{ кома} = 1 \text{ мгом.}$$

При долна гранична честота $F_n = 20 \text{ хц}$

$$C_{разд} = \frac{1}{2\pi F R_p} = \frac{1}{6.28 \cdot 20 \cdot 1000} = 0.000000008 \text{ ф} = 8000 \text{ пф.}$$

Коефициентът на усилване за средните честоти е

$$K_{cp} = \frac{1}{D} \frac{R_a}{R_i + R_a} = \frac{1}{0.01} \cdot \frac{300}{66 + 300} = 82.$$

Горната гранична честота при $C_{екв} = 50 \text{ пф}$ е

$$\frac{1}{2\pi R_i C_{екв}} = \frac{1}{6.28 \cdot 66000 \cdot 0.000000050} = 48300 \text{ хц.}$$

Максималната амплитуда на възбуждащото напрежение е

$$U_{p \sim \max} = \frac{D E_a}{2} - 1 = \frac{0.01 \cdot 250}{2} - 1 = 0.25 \text{ в.}$$

Решетъчното преднапрежение $E_p = -\frac{D E_a}{2} = -\frac{0.01 \cdot 250}{2} = -1.25 \text{ в.}$

Максималното изходящо напрежение за средните честоти е

$$U_{a \sim} = K_{cp} U_{p \sim} = 82 \cdot 0.25 = 20.5 \text{ в.}$$

От получените резултати в последните две задачи се вижда, че триодът 6Ф5 трябва да бъде употребен при входящи напрежения, по-малки от 0,25 в; триодът УБ240 при такива малки напрежения не е целесообразно да се употребява поради малкия му коефициент на усилване (само 19 единици), на-против, при големи входящи напрежения (до 1,7 в) този триод трябва да бъде предпочетен пред триода 6Ф5.

188. Какви изменения трябва да се направят в предусилвателите от задачи 185 и 187, ако триодите се заменят с пентода 6Ж7, който има $R_i = 1 \text{ мгом.}$, $\mu = \frac{1}{D} = 1200$ и $S = 1,2 \frac{\text{ма}}{\text{в}} = 0,0012 \frac{\text{а}}{\text{в}}.$

Решение. Съгласно формула 137 избираме

$$R_a = 0,1 \cdot 1000 = 100 \text{ кома.}$$

Отгечното съпротивление нека да бъде

$$R_p = 8 R_a = 8 \cdot 100 = 800 \text{ кома.}$$

Усилването на напреженията със средни честоти съгласно формула 135 е $K_{cp} = S R_a = 0,0012 \cdot 100000 = 120.$

Горната гранична честота съгласно формула 143 е

$$F_n = \frac{1}{2\pi R_a C_{екв}} = \frac{1}{6.28 \cdot 100000 \cdot 0.00000000005} = 32000 \text{ хц.}$$

Ако товарното съпротивление се увеличи на $R_a = 300 \text{ кома.}$, горната гранична честота ще се понижи 3 пъти, а именно $F_n = \frac{32000}{3} = 10666 \text{ хц.}$ Става ясно, че голямото товарно съпротивление е причина за стесняване на честотния обхват.

За определяне на максималната възбудителна амплитуда и на преднапрежението във формули 144 и 145 трябва да се вземе напрежението E_p на екраиращата решетка и прониктаемостта D_1 на същата решетка по отношение на първата. Известно е, че при пентода въпреки нищожната му прониктаемост $D = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{1200}$ решетъчната му характеристика има ляво разположение. Причината за това е сравнително голямата прониктаемост D_1 . В дадения случай $D_1 = 0,06$, а напрежението $E_p = 100 \text{ в.}$

$$\text{Следователно } U_{p \sim \max} = \frac{D_1 E_p}{2} - 1 = \frac{0.06 \cdot 100}{2} - 1 = 2 \text{ в.}$$

$$\text{Решетъчното преднапрежение } E_p = -\frac{D_1 E_p}{2} = -\frac{0.06 \cdot 100}{2} = -3 \text{ в.}$$

Максималното анодно променливо напрежение за средните честоти

$$U_{a \sim} = K_{cp} U_{p \sim \max} = 120 \cdot 2 = 240 \text{ в.}$$

189. Дроселен предусилвател (рис. 74) е изпълнен със съветския триод 6С5, който има прониктаемост $D = 0,05$. Колко голям е коефициентът на усилване за средните честоти?

Решение. Съгласно формула 139

$$K_{cp} = \frac{1}{D} = \frac{1}{0,05} = 20.$$

190. Как ще се измени усилването на предусилвателя с триода 6С5 от предшестващата задача, ако върху дросела

се намотае вторична намотка, която има три пъти повече на-
вивки в сравнение с първичната?

Решение. След намотаване на вторичната намотка дро-
селният трансформатор се преобразува в трансформаторен
(схемата на рис. 75). За последния е в сила формула 140.

$$K_{cp} = \mu \cdot \tilde{u} = \frac{1}{D} \tilde{u} = \frac{3}{0,05} = 20 \cdot 3 = 60.$$

191. Да се определи максималното възбуждащо напреже-
ние $U_{p, \max}$ за триодните предусилватели с лампа 6С5 от за-
дачи 189 и 190, ако напрежението на анодния токоизточник е
 $E_a = 250$ в. Да се определи и съответното преднапрежение E_p .

192. Триодът УБ240 е употребен в нискофреототен RC-
усилвател. Колко голямо трябва да бъде катодното съпротив-
ление R_k (виж схемата на рис. 73), за да се получи в него
преднапрежение $E_p = -1$ в, ако анодният ток при липса на
възбуждане ($U_{p, \sim} = 0$) е $I_{a0} = 3,5$ ма? Да се определи и капа-
цитетът на катодния кондензатор C_k .

Решение. Понеже преднапрежението $E_p = I_{a0} \cdot R_k$, големи-
ната на R_k ще бъде

$$R_k = \frac{E_p}{I_{a0}} = \frac{1}{0,0035} = 286, \text{ закръглено: } 300 \text{ ома.}$$

Катодният блок не се изчислява, а се взема типов елек-
тролитен кондензатор с капацитет $C = 10 \dots 50$ мкф.

193. В радиоприемника „Република“ за усилване на ниско-
фреототно напрежение е употребена триодната част на лампата
ЕВС3. Да се изчисли коефициентът на усилване K_{cp} , ако
 $D = 0,033$, $R_i = 15$ кома и $R_z = 50$ кома.

194. Какъв ще бъде ефектът, ако в схемата на рис. 73 се
прекъсне решетъчното отчетно съпротивление R_p ?

Отговор. При големи входящи амплитуди е възможно
решетката на втората лампа да се наелектризира положително.
Вследствие на това решетката ще привлече електрони, които
ще се натрупат на десния електрод на кондензатора $C_{разд}$ —
втората лампа ще се запали.

в) Крайно стъпало

Основното предназначение на крайното стъпало (рис. 76) е
да отдаде променливотокова мощност на високоговорителя

$$P_{a, \sim} = \frac{1}{2} I_{a, \sim}^2 R_{a, \sim}. \quad (146)$$

В тази формула $I_{a, \sim}$ е токът, който протича през трептя-
щата бобинка на високоговорителя, а $R_{a, \sim}$ е нейното омическо
съпротивление. Ако се пренебрегнат малките загуби в изход-

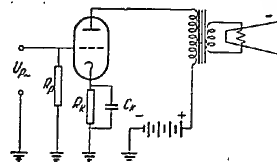


Рис. 76

ния трансформатор, мощността $P_{a, \sim}$ се равнява на произведе-
ната в крайната лампа мощност $P_{\sim}$

$$P_{a, \sim} = P_{\sim} = \frac{1}{2} I_{a, \sim}^2 R_{a, \sim}, \quad (146a)$$

където R_a е оптималното (най-доброто) анодно товарно съпро-
тивление, а $I_{a, \sim}$ — амплитудата на променливата съставна на
анодния ток.

Понеже токът $I_{a, \sim}$ протича през първичната намотка на из-
ходния трансформатор, имаща w_1 навивки, а токът $I_{a, \sim}$ — през
вторичната намотка с w_2 навивки, отношението между двата
тока е обратно пропорционално на съответния брой навивки

$$\frac{I_{a, \sim}}{I_{a, \sim}} = \frac{w_2}{w_1}. \quad (147)$$

Като се има предвид равенството на мощностите $P_{a, \sim}$ и $P_{\sim}$
и уравнение 147, необходимото преводно отношение $\frac{w_1}{w_2}$ на из-
ходния трансформатор е

$$\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{R_a}{R_{a, \sim}}}. \quad (148)$$

Оптималното товарно съпротивление R_a на краен триод
(рис. 76) е

$$R_a = (2 \div 3) R_i, \quad (149)$$

а същото променливотоково съпротивление за крайния пентод (рис. 77) при първо приближение се равнява на правотоковото му съпротивление

$$R_a = \frac{U_{a0}}{I_{a0}}. \quad (150)$$

В последната формула U_{a0} е средната стойност на анодното напрежение; поради незначителното правотоково падение

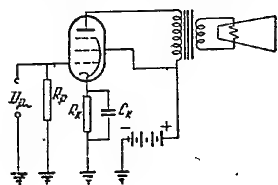


Рис. 77

на напрежение в първичната намотка на трансформатора напрежението U_{a0} при първо приближение се равнява на полюсното напрежение на анодния токоизточник U_B . Токът I_{a0} е стойността на анодния ток при липса на възбуждане ($U_{p\sim}=0$).

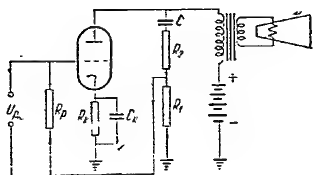


Рис. 78

За да се постигне по-голяма честотна равномерност на изходящата мощност $P_{\sim}$ и за да се понижат нелинейните изкривявания, твърде често в крайните стъпала се устройва отрицателна обратна връзка по напрежение (рис. 78)

или по ток (рис. 79). Степента на отрицателната обратна връзка се изразява с коефициента β , който представлява отношение между подаденото от анодната в решетъчната верига напрежение $U_{o.s}$ и анодното променливо напрежение $U_{a\sim}$:

$$\beta = \frac{U_{o.s}}{U_{a\sim}}. \quad (151)$$

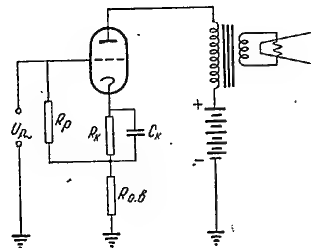


Рис. 79

При отрицателната връзка по напрежение (рис. 78)

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_g}, \quad (152)$$

а при отрицателната обратна връзка по ток

$$\beta = \frac{R_{o.s}}{R_a}. \quad (153)$$

Поради въведената отрицателна обратна връзка коефициентът на усилване на крайното стъпало се намалява $1 + \beta K$ пъти:

$$K_{o.s} = \frac{K}{1 + \beta K}. \quad (154)$$

Задачи

195. В крайното стъпало на един приемник е употребен триодът AD101. В таблиците-характеристики е показана променливотокова мощност $P_{\sim}=1,7 \text{ вт}$, която се получава при оптимално товарно съпротивление $R_a=5000 \text{ ома}$. Да се определи преводното отношение на изходния трансформатор, ако

съпротивлението на високоговорителя $R_{a.2} = 4 \text{ ом}$. Да се определят променливите напрежения и променливите токове в двете трансформаторни намотки.

Решение. Съгласно формула 148

$$\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{R_a}{R_{a.2}}} = \sqrt{\frac{5000}{4}} = \sqrt{1250} = 35,3:1.$$

Полученият резултат показва, че първичната намотка трябва да има 35,3 пъти повече навивки в сравнение с вторичната. За да бъде голяма индуктивността на първичната намотка, последната трябва да има голям брой навивки. Приемаме $w_1 = 3000$ навивки. Следователно

$$w_2 = \frac{w_1}{35,3} = \frac{3000}{35,3} = 85 \text{ навивки.}$$

Въз основа на формула 146 а амплитудата на променливия ток в първичната намотка на трансформатора е

$$I_{a.1} = \sqrt{\frac{2P}{R_a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,7}{5000}} = 0,026 \text{ а} = 26 \text{ ма.}$$

Амплитудата на променливото напрежение

$$U_{a.1} = I_{a.1} \cdot R_a = 0,026 \cdot 5000 = 130 \text{ в.}$$

Съгласно уравнение 147 токът в бобинката на високоговорителя (това е и токът през вторичната намотка) е

$$I_{a.2} = I_{a.1} \frac{w_1}{w_2} = 0,026 \cdot 35,3 = 0,9 \text{ а.}$$

Амплитудата на напрежението във вторичната намотка

$$U_{a.2} = I_{a.2} \cdot R_{a.2} = 0,9 \cdot 4 = 3,6 \text{ в.}$$

196. Съгласно табличните данни за лампата AD101 полезната мощност $P = 1,7 \text{ вт}$ е получена при средна стойност на анодния ток $I_{a0} = 40 \text{ ма} = 0,04 \text{ а}$ и средна стойност на анодното напрежение $U_{a0} = 250 \text{ в}$. Да се изчислят: правотоковата мощност, доставяна от анодния токоизточник, загубната мощност, коефициентът на полезно действие, максималното и минималното моментно анодно напрежение, максималният и минималният моментен аноден ток.

Решение. Съгласно формула 65 правотоковата мощност е

$$P = I_{a0} U_{a0} = 0,04 \cdot 250 = 10 \text{ вт.}$$

Съгласно формула 67 загубната мощност е

$$P_{a.2} = P = P = 10 - 1,7 = 8,3 \text{ вт.}$$

Коефициентът на полезно действие съгласно формула 66

$$\eta = \frac{P}{P} = \frac{1,7}{10} = 0,17 = 17 \%.$$

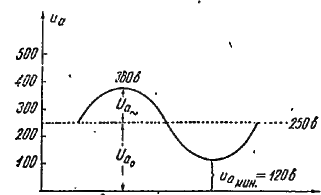


Рис. 80

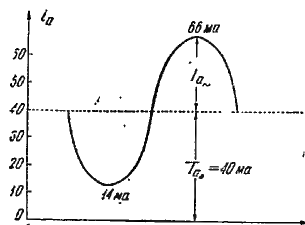


Рис. 81

Максималното моментно анодно напрежение (рис. 80) е

$$U_{a.макс} = U_{a0} + U_{a.1} = 250 + 130 = 380 \text{ в,}$$

а минималното $U_{a.мин} = U_{a0} - U_{a.1} = 250 - 130 = 120 \text{ в.}$

Максималната моментна стойност на анодния ток (рис. 81) е

$$I_{a.макс} = I_{a0} + I_{a.1} = 40 + 26 = 66 \text{ ма.}$$

Минималната моментна стойност на същия ток

$$i_{a, \min} = I_{a_0} - I_{a\sim} = 40 - 26 = 14 \text{ ма.}$$

Сравнително малкият коефициент на полезно действие (17 %) се дължи на голямото минимално анодно напрежение ($U_{a, \min} = 120 \text{ в}$) и ненапълно използвания аноден ток — минималната му стойност е доста голяма: 14 ма.

197. Да се намери амплитудата на възбуждащото напрежение $U_{p\sim}$ на крайния триод от задача 195, ако вътрешното му съпротивление $R_i = 1400 \text{ ома}$, а проникемостта $D = 0,12$.
Решение. Съгласно уравнение 130

$$U_{p\sim} = \frac{U_{a\sim}}{K} = \frac{130}{K}.$$

Коефициентът на усилване съгласно формула 62 е

$$K = \frac{1}{D} \frac{R_a}{R_i + R_a} = \frac{1}{0,12} \frac{5000}{6400} = 6,5.$$

Следователно $U_{p\sim} = \frac{130}{6,5} = 20 \text{ в}$.

198. Да се определи големината на катодното съпротивление R_k (рис. 76) на крайното стъпало от задачи 195, 196 и 197 при $I_{a_0} = 40 \text{ ма}$ и $E_p = -21 \text{ в}$.

199. В крайното стъпало от задача 195 триодът AD101 е заменен с крайния пентод EL13. Да се определят измененията, които трябва да се направят в монтажа, а също и стойностите на токовете и напреженията.

Решение. Триодът AD101 има отоплително напрежение 4 в и отоплителен ток 1,6 а, а пентодът — $U_{отопл} = 6,3 \text{ в}$ и $I_{отопл} = 0,5 \text{ а}$. Следователно първото изменение ще се състои в повишаване броя на навивките на отоплителната намотка на силовия трансформатор и намаляване диаметъра на добавъчния проводник съгласно таблици 1 и 2 (виж стр. 55). От таблиците-характеристики се вижда, че пентодът EL13 се нуждае от напрежение $U_{a_0} = 250 \text{ в}$ при средна стойност на анодния ток $I_{a_0} = 20 \text{ ма}$; тохарното му съпротивление е $R_a = 12,5 \text{ кома}$. Такава стойност се получава и по формула 150

$$R_a = \frac{U_{a_0}}{I_{a_0}} = \frac{250}{0,02} = 12500 \text{ ома} = 12,5 \text{ кома.}$$

Понеже R_a на пентода е по-голямо от R_a на триода, преводното отношение $\frac{w_1}{w_2}$ съгласно формула 148 трябва да се увеличи:

$$\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{R_a}{R_{a,2}}} = \sqrt{\frac{12500}{4}} = 56:1.$$

При $w_1 = 6000$ броят на вторичните навивки ще бъде

$$w_2 = \frac{w_1}{56} = \frac{6000}{56} = 107.$$

В ламповия справочник е дадена променливотоковата мощност на пентода $P_{\sim} = 2 \text{ вт}$. Амплитудата на променливата съставна на анодния ток съгласно формула 146 а е

$$I_{a\sim} = \sqrt{\frac{2P_{\sim}}{R_a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2}{12500}} = 0,018 \text{ а} = 18 \text{ ма.}$$

Напрежението $U_{a\sim} = I_{a\sim} \cdot R_a = 0,018 \cdot 12500 = 225 \text{ в}$.

Токът през бобинката на високоговорителя съгласно формула 147 е

$$I_{a,2} = \frac{w_1}{w_2} I_{a\sim} = 56 \cdot 0,018 = 1 \text{ а,}$$

а напрежението в същата $U_{a,2} = I_{a,2} \cdot R_{a,2} = 1,4 \cdot 4 = 5,6 \text{ в}$; максималното напрежение $u_{a, \max} = U_{a_0} + U_{a\sim} = 250 + 225 = 475 \text{ в}$;

минималното напрежение $u_{a, \min} = U_{a_0} - U_{a\sim} = 250 - 225 = 25 \text{ в}$; максималният аноден ток $i_{a, \max} = I_{a_0} + I_{a\sim} = 20 + 18 = 38 \text{ ма}$; минималният аноден ток $i_{a, \min} = I_{a_0} - I_{a\sim} = 20 - 18 = 2 \text{ ма}$; правотоковата мощност $P_{\sim} = U_{a_0} \cdot I_{a_0} = 250 \cdot 0,02 = 5 \text{ вт}$; загубната мощност $P_{\text{заг}} = P_{\sim} - P_{\sim} = 5 - 2 = 3 \text{ вт}$.

Коефициентът на полезно действие $\eta = \frac{P_{\sim}}{P_{\sim}} = \frac{2}{5} = 0,4 = 40\%$.

Този коефициент е по-голям от к.п.д. на триодния усилвател (17%), защото при пентода минималното анодно напрежение е много малко: 25 в, което представлява само 10% от напрежението на анодния токоизточник $U_0 = U_{a_0} = 250 \text{ в}$. При триодния усилвател $u_{a, \min} = 120 \text{ в}$ е много голямо — то представлява почти 50% от напрежението на токоизточника.

200. Защо при триодната крайна лампа минималното анодно напрежение $u_{a, \min}$ е голямо, а при пентодната — незначително?

Отговор. При пентода анодните характеристики за отрицателни решетъчни напрежения имат изпъкнала форма с много стръмен начален участък (такава форма има и нулевата характеристика — за $E_p=0$). При триода същите характеристики са вдлъбнати нагоре. Понеже при крайната лампа при максимално възбуждане анодният ток се разпретпява между $i_{a, \max}$, съответстващо на $E_p=0$ и $i_{p, \min}=0$, затова изпъкналата и стръмна нулева анодна характеристика OMN на рис. 82, б допуска много ниско напрежение $U_{a, \min}$, а вдлъбнатата и полегата характеристика на триода на рис. 82, а обуславя сравни-

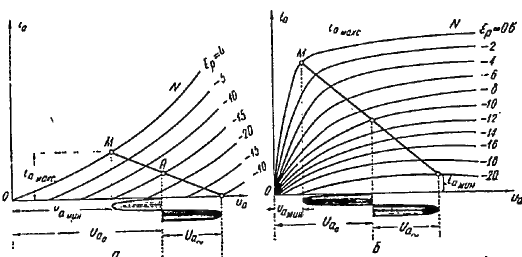


Рис. 82

телно високо напрежение $U_{a, \min}$. Високо остатъчно (минимално) анодно напрежение означава, че голяма част от напрежението на токоизточника не се разпретпява; затова и променливотоковата мощност представлява малък дял от общата правото-кова мощност на токоизточника (малък к. п. д. при триода).

201. Да се определи необходимото възбуждащо напрежение U_{p-} за пентодния усилвател от предшествуващата задача при $R_1=60$ кома и $D=0,003$.

Решение: Коэффициентът на усилване на лампата е:

$$K = \frac{1}{D} \frac{R_a}{R_1 + R_a} = \frac{1}{0,003} \frac{12,5}{72,5} = 56,8.$$

$$\text{Възбуждащото напрежение } U_{p-} = \frac{U_{a-}}{K} = \frac{225}{56,8} = 3,9 \text{ в.}$$

Това напрежение е много по-малко от възбуждащото напрежение на триодния усилвател от задача 197. Причината е големият усилвателен коэффициент на пентода.

202. Да се определи катодното съпротивление R_k на крайния пентод от задача 199 при $I_{a0}=20$ ма и $E_p=7,5$ в.

203. В пентодния усилвател от задачи 200 и 201 е устроена отрицателна обратна връзка по напрежение според схемата на рис. 78. Съпротивлението $R_1=10$ кома, $R_2=90$ кома, а кондензаторът C е достатъчно голям и кондензаторното му съпротивление е нищожно и може да се пренебрегне. Без отрицателната обратна връзка коэффициентът на усилване, както се вижда от задача 201, е $K_{cp}=56,8$. Да се определи същият коэффициент при наличност на обратна връзка.

Решение. Съгласно формула 152 коэффициентът на обратната връзка е

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{10}{10 + 90} = 0,1 = 10\%.$$

Коэффициентът K_{cp} за средните честоти при налична обратна връзка съгласно формула 154

$$K_{o.s.cp} = \frac{K_{cp}}{1 + \beta K_{cp}} = \frac{56,8}{1 + 0,1 \cdot 56,8} = 8,5.$$

204. Честотната характеристика на усилвателя от задача 201 е дадена на рис. 83 с кривата a . От нея се вижда, че усилването на напрежението с граничните честоти F_H и F_L пред-

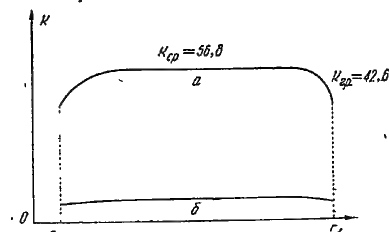


Рис. 83

ставява 75% от усилването за средните честоти $K_{cp}=56,8$, сиреч $K_{ср,ч}=56,8 \cdot 0,75 = 42,6$. Да се определи неравномерността на усилването след въвеждането на отрицателната обратна връзка.

Решение. При наличността на отрицателна обратна връзка коэффициентът на усилване за граничните честоти съгласно формула 154 е

$$K_{o.v.p} = \frac{K_{гp,n}}{1 + \beta K_{гp,n}} = \frac{42,6}{1 + 0,1 \cdot 42,6} \approx 8.$$

При отрицателна обратна връзка неравномерността съгласно формула 131 е

$$M = \frac{K_{o.v.p}}{K_{o.v.p}} = \frac{8}{8,5} = 0,94 = 94\%.$$

Изводът от получените числени резултати е, че сравнително голямата неравномерност на усилвателя (75%) благодарение на отрицателната обратна връзка се намали — коефициентът M порасна на стойност 0,94 (виж кривата b на рис. 83).

205. Да се определи големината на съпротивлението $R_{o.a}$ в схемата на рис. 79, която да се приложи по отношение на крайното стъпало от задача 195 при $R_a = 5000 \text{ ома}$ и при $\beta = 0,2$.

206. Какъв ток ще се измери в анодната верига на триодния усилвател на рис. 76, който има данни, посочени в задачи 195 и 196, а именно $I_{a0} = 40 \text{ ма}$ и $I_{a\infty} = 26 \text{ ма}$? Употребява се милиампермер за променлив ток (За справка виж задача 90.)

207. Защо динамичният високоговорител не трябва да се включи директно в анодната верига на крайната лампа, а радиослушалките могат да се включат и без посредството на изходния трансформатор?

208. Как може да се констатира, че крайната лампа работи с нелинейни изкривявания, ако се употреби само милиампермер за постоянен ток?

Отговор. Нелинейните изкривявания се дължат на кривината на динамичната лампова характеристика. При такава характеристика включеният в анодната верига правотоков милиампермер при липса на възбуждане ($U_{p\infty} = 0$) показва ток I_{a0} , а при наличност $U_{p\infty}$ същият измерителен уред се заедествува от правотоковата съставна $I_{a\infty}$ на пулсиращия аноден ток. При наличност на нелинейни изкривявания токът $I_{a\infty}$ не е равен на I_{a0} . Ако обаче динамичната характеристика в работния си участък е права линия (рис. 84), лампата работи без нелинейни изкривявания — в този случай токът $I_{a\infty} = I_{a0}$ (стрелката на измервателния правотоков уред ще показва все едно и също деление независимо от това има ли или няма подадено променливо напрежение във входа на лампата).

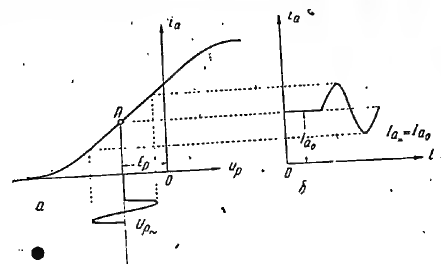


Рис. 84

5. СУПЕРХЕТЕРОДИНЕН РАДИОПРИЕМНИК

Характерната за суперхетеродина междинна честота f_m се равнява на разликата между честотата f_c на входящия сигнал и честотата f_x на произведения с хетеродина спомагателен сигнал

$$f_m = f_x - f_c. \quad (155)$$

При приемане на радиосигнали входният кръг и кръгът на високочестотния усилвател (ако има такъв) трябва да са настроени на честотата f_c , хетеродинният кръг — на честотата f_x , а двата свързани кръга в анодната верига на преобразователната лампа (рис. 85) трябва да са настроени на междинната честота f_m . За да се получи такъв синхронизъм при приемане на всички честоти от даден обхват, необходимо е хетеродинният кръг да съдържа освен индуктивността L_x и променливия кондензатор C още два допълнителни кондензатора: паралелно включеният към C донаторна кондензатор (тример) $C_{тр}$ и последователният $C_{сгдл}$, чието главно предназначение е да понижи общия кръгов кондензатор с цел собствената честота f_x на хетеродинния кръг да стане с f_m по-висока от собствената честота f_c на входния кръг (а също и на кръга на високочестотния усилвател). Последователният кондензатор за съгласуване е известен още и под чуждото наименование пад и т. т. Тези елементи на хетеродинния кръг са посочени на рис. 86; на същата са дадени и елементите на входния кръг (и на кръга на високочестотния усилвател).

Пълн синхронизъм (пълно съответствие) в настройката на хетеродинния и входния кръг може да се постигне само за три честоти в обхвата. За всички останали честоти входният

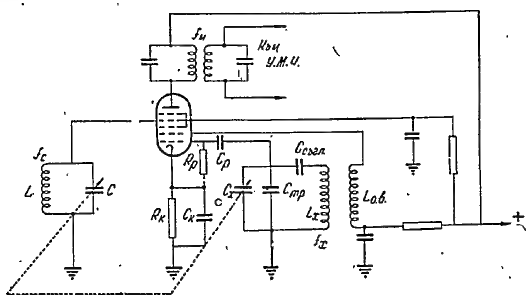


Рис. 85

кръг и кръгът на височестотния усилвател са до известна степен разстроени по отношение на честотата на входящия сигнал f_c . Изчисленияето на елементите на хетеродинния кръг е посочено в следващите задачи.

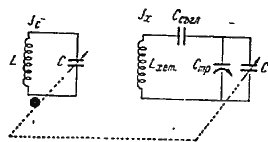


Рис. 86

Задачи

209. Единият от подобрвателите на любителски радиоприемник има най-ниска честота $f_{\min} = 3,5$ МГц и най-висока $f_{\max} = 7,5$ МГц; междинната честота е $f_m = 465$ кГц = 0,465 МГц.

Да се определят елементите на входния кръг L и C и елементите L_x , C , $C_{тр}$ и $C_{свдл}$ на хетеродинния кръг.

Решение. Избираме въртящи се кондензатори с максимален капацитет $C_{\max} = 140$ пф. Понеже паралелно на въртящия се кондензатор са включени и разни монтажни и паразитни капацитети — C_{ex} , обусловени от схемата, максималният честотно определящ капацитет е $C_{\max} + C_{ex}$. На този капа-

цитет съответствува най-ниската честота на обхвата $f_{\min} = 3,5$ МГц. При напълно отворен въртящ се кондензатор минималният капацитет на входния кръг е равен на C_{ex} . На този капацитет съответствува най-високата честота $f_{\max} = 7,5$ МГц. Съгласно формулата на Томсон (формула 1) квадратите от двете крайни честоти се отнасят обратно пропорционално към обуславящите ги капацитети

$$\frac{7,5^2}{3,5^2} = \frac{f_{\max}^2}{f_{\min}^2} = \frac{C_{\max} + C_x}{C_x} = \frac{140 + C_x}{C_x}.$$

От последния израз намираме, че $C_{ex} = 38,8$ пф.

Следователно на най-ниската честота $f_{\min} = 3,5$ МГц съответствува кръгов капацитет $C = C_{свдл} + C_{ex} = 140 + 38,8 = 178,8$ пф.

Съгласно формулата на Томсон индуктивността на входния кръг

$$L = \frac{1}{(2\pi)^2 f_{\min}^2 C_{\max}} = \frac{1}{6,28^2 \cdot 350000^2 \cdot 0,000000000788} = 11,7 \text{ мкХн}.$$

Понеже обхватът 3,5—7,5 МГц е из областта на късите вълни, кръговите бобини имат малък собствен капацитет, който се пренебрегва. Следователно в схемата на хетеродинния кръг на рис. 86 трябва да бъдат определени капацитетите $C_{свдл}$, $C_{тр}$ и индуктивността L_x (капацитетът C има същата стойност както във входния кръг — изменя се от $C_{\min} = 38,8$ пф до $C_{\max} = 178,8$ пф).

Капацитетът $C_{свдл}$ се определя с формулата

$$C_{свдл} = C_0 f_0^2 \left(\frac{1}{f_{\min}^2} - \frac{1}{f_{\max}^2} \right), \quad (156)$$

в която f_0 е някаква честота от обхвата, а C_0 е съответният капацитет на входния кръг. Нека например приемем, че $f_0 = f_{\min} = 3,5$ МГц; съответният капацитет е $C_{\max} = 178,8$ пф.

Следователно уравнението 156 ще получи конкретната стойност

$$C_{свдл} = 178,8 \cdot 3,5^2 \left(\frac{1}{f_{\min}^2} - \frac{1}{f_{\max}^2} \right) = 2190 \left(\frac{1}{f_{\min}^2} - \frac{1}{f_{\max}^2} \right).$$

Величината f^2 се определя с формулата

$$f^2 = \frac{b^2 d - c^2}{2 f_m}, \quad (157)$$

където величините b^2 , d и c^3 зависят от честотите на точното съгласуване f_1 , f_2 и f_3 (рис. 87) и от междинната честота f_m . Честотата f_1 е средна аритметична между крайните обхватни честоти $f_{мин}$ и $f_{макс}$

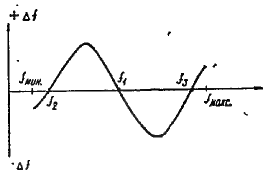


Рис. 87

$$f_1 = \frac{f_{мин} + f_{макс}}{2} = \frac{3,5 + 7,5}{2} = 5,5 \text{ мГц.} \quad (158)$$

Честотата f_2 отстои на честотно отстояние $\frac{\sqrt{3}}{4} (f_{макс} - f_{мин})$ под f_1 , а честотата f_3 се намира на същото честотно разстояние над f_1 :

$$f_2 = f_1 - \frac{\sqrt{3}}{4} (f_{макс} - f_{мин}) = 5,5 - 0,43 \cdot 4 = 3,78 \text{ мГц.} \quad (159)$$

$$f_3 = f_1 + \frac{\sqrt{3}}{4} (f_{макс} - f_{мин}) = 5,5 + 0,43 \cdot 4 = 7,22 \text{ мГц.} \quad (160)$$

Величините a , b^2 , c^3 и d се определят със следните уравнения

$$a = f_1 + f_2 + f_3 = 5,5 + 3,78 + 7,22 = 16,5 \text{ мГц.} \quad (161)$$

$$b^2 = f_1 f_2 + f_1 f_3 + f_2 f_3 = 5,5 \cdot 3,78 + 5,5 \cdot 7,22 + 3,78 \cdot 7,22 = 87; \quad (162)$$

$$c^3 = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 = 5,5 \cdot 3,78 \cdot 7,22 = 147,6; \quad (163)$$

$$d = a + 2f_m = 16,5 + 2 \cdot 0,465 = 17,43. \quad (164)$$

Въз основа на уравнение 157 величината

$$l^2 = \frac{87 \cdot 17,43 - 147,6}{0,93} = 1470.$$

Величината n^2 във формула 156 се определя с формула

$$n^2 = \frac{f_m^2 l^2 + c^3 d}{m^2}, \quad (165)$$

в която

$$m^2 = ad + f_m^2 - b^2 + l^2 = 16,5 \cdot 17,43 + 0,465^2 - 87 + 1470 = 1670.$$

$$\text{Следователно } n^2 = \frac{0,465^2 \cdot 1470 + 147,6 \cdot 17,43}{1670} = 1,8.$$

Накрай определяме стойността на $C_{свгл}$ (падинга) с формула 156:

$$C_{свгл} = C_0 f_0^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{l^2} \right) = 2190 \left(\frac{1}{1,8} - \frac{1}{1470} \right) = 1217 \text{ пф.}$$

Капацитетът на тримера се определя с формулата

$$C_{тр} = \frac{C_0 f_0^2}{l^2} = \frac{2190}{1470} = 1,5 \text{ пф.}$$

Към този капацитет трябва да се прибави и монтажният капацитет $C_{сх} = 38,8 \text{ пф.}$ за да се получи минималният капацитет $C_{тр} + C_{сх} = 1,5 + 38,8 = 40,3 \text{ пф.}$

Индуктивността на хетеродинния кръг се изчислява с формулата

$$L_x = L \frac{l^2 C_{свгл} + C_{тр}}{m^2}. \quad (166)$$

В конкретния случай

$$L_x = 11,7 \cdot \frac{1470 \cdot 1217 + 1,5}{1670} = 10,5 \text{ мкХн.}$$

Полученият резултат показва, че индуктивността на хетеродинния кръг L_x е по-малка от индуктивността на входния кръг $L = 11,7 \text{ мкХн.}$ Това е обща закономерност за всички суперхетеродинни радиоприемници.

210. По метода, посочен в задача 209, да се определят елементите на двата кръга (входния и хетеродинния) на суперхетеродина за средновълновия обхват при

$$f_{мин} = 0,5 \text{ мГц, } f_{макс} = 1,5 \text{ мГц, } f_m = 465 \text{ кГц,}$$

като се употреби блок въртящи се кондензатори с $C_{макс} = 350 \text{ пф.}$ Понеже при средните вълни кръговата индуктивност има доста голям собствен капацитет, той не може да бъде прене-

бегнат. Затова в този случай донастройващият кондензатор може да се включи паралелно към L_x (рис. 88). Нека означим общия паралелен към L_x капацитет с C_L . При липса на три-

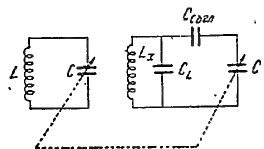


Рис. 88

мер, паралелен към въртящия се кондензатор, елементите $C_{свзл}$, C_L и L_x се определят с формулите

$$C_{свзл} = \frac{C_0 f_0^2}{\pi^2}; \quad (167)$$

$$C_L = \frac{C_0 f_0^2}{\pi^2 - \pi^2}; \quad (168)$$

$$L_x = L \frac{\pi^2}{m^2} \frac{C_{свзл}}{C_{свзл} + C_L}. \quad (169)$$

Упътване. При изчислението честотите трябва да се вземат в мегагерци (мгхц), капацитетите — в пф, а индуктивностите — в мкхн.

Забележка. Възможни са още два случая на изчисление на хетеродинни кръгове: при третия случай има паралелни капацитети както към въртящия се кондензатор, така и към кръговата бобина L_x , като се задава предварително стойността на C_L ; при четвъртия случай при наличност на същите два капацитета $C_{свзл}$ и C_L предварително се задава стойността на $C_{свзл}$. Елементите на хетеродинния кръг при третия и четвъртия случай се изчисляват по специални формули, които поради ограничения обем на настоящия сборник не са показани.

211. Изходящото високочестотно напрежение от задача 157 със стойност $U_{св} = 8,55$ мв постъпва на сигналната решетка на преобразователната лампа ECH21, която има стръмнина на преобразуване $S_{пр} = 0,75 \frac{mA}{\delta}$. Междинночестотният филтър в анодната верига на същата лампа се състои от два свързани кръга (рис. 89) с капацитет $C = 220$ пф, индуктивност $L = 533$ мкхн и $R = 24$ ома; коефициентът на взаимоиндуктивност между

кръговете $M = 8,3$ мкхн. Междинната честота $f_m = 465$ кцх. Да се определи изходящото напрежение с междинна честота (напрежението в краищата на втория кръг).

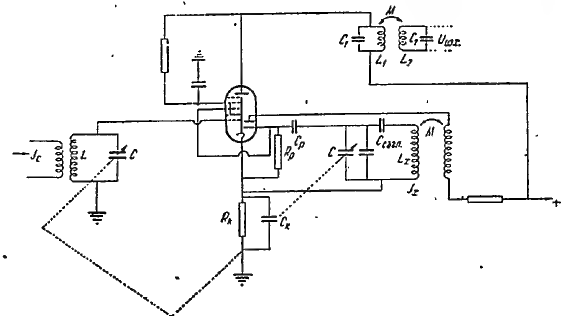


Рис. 89

Решение. Търсеното изходящо напрежение $U_{св}$ във втория кръг на преобразователното стъпало се равнява на произведението от входящото сигнално напрежение

$$U_{св} = 8,55 \text{ мв}$$

и коефициента на усилване на преобразователното стъпало по междинна честота.

$$K_{пр} = \frac{1}{2} S_{пр} \cdot Z_a. \quad (170)$$

В последната формула Z_a е резонансният импеданс на единия трептящ кръг на междинночестотния филтър $L_1 C_1 / L_2 C_2$ на рис. 89. Формула 170 е сходна с формула 109, с която се определя усилването на резонансният усилвател; коефициентът $\frac{1}{2}$ във формула 170 се дължи на наличността на втория свързан кръг, който при критична връзка между него и първия кръг внася в последния активно съпротивление $\Delta R = \frac{\omega^2 M^2}{R_2}$, равно на активното съпротивление R_1 на първия кръг (R_2 е съпротивлението на втория кръг).

От формула 26 се вижда, че внесеното съпротивление от втория в първия кръг е

$$\Delta R = R_{вн} = \frac{\omega^2 M^2}{R_2} = \frac{(6,28 \cdot 465 \cdot 000)^2 \cdot 0,0000083^2}{24} = 24 \text{ ома} = R_1.$$

Понеже $R_{вн} = R_1 = 24 \text{ ома}$, връзката между двата кръга е критична. При такава връзка във втория кръг се прехвърля най-голяма мощност с междинна честота.

Импедансът на трептящия кръг Z_a , който е паралелен, се определя с формула

$$Z_a = \frac{L}{RC} = \frac{0,000533}{24 \cdot 0,000000000224} = 100\,000 \text{ ома} = 100 \text{ кома.}$$

Изходящото напрежение U се определя с формулата

$$U_{изх} = K_{пр} \cdot U_{вх}. \quad (171)$$

В конкретния случай

$$K_{пр} = \frac{1}{2} S_{пр} \cdot Z_a = 0,5 \cdot 0,00075 \cdot 100\,000 = 37,5.$$

Следователно $U_{изх} = K_{пр} \cdot U_{вх} = 37,5 \cdot 8,55 = 320 \text{ мв} = 0,32 \text{ в.}$

212. Полученото в предшестващата задача междинночестотно напрежение $U_{изх} = 0,32 \text{ в}$ се подава за усиление в междинночестотния усилвател, изпълнен със съветския пентод

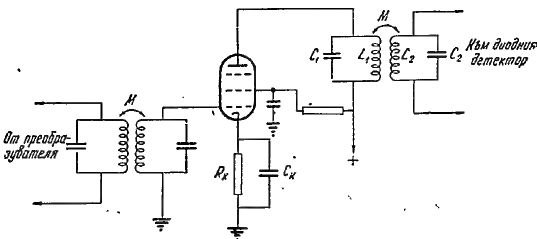


Рис. 90

2К2М, имащ стръмина $S = 0,95 \frac{\text{ма}}{\text{в}}$; междинночестотният филтър на стъпалото (рис. 90) е съставен от същите свързани

кръгове, както и преобразувателя на рис. 89 — паралелният резонансен импеданс на първия свързан кръг и тук е $Z_a = 100\,000 \text{ ома}$. Да се определи усиленото напрежение в изхода на междинночестотния усилвател.

Решение. Коэффициентът на усиление на междинночестотния усилвател се определя с формула 170, като тук се взема статичната стръмина на лампата

$$K_{м.ч} = \frac{1}{2} S Z_a = 0,5 \cdot 0,00095 \cdot 100\,000 = 47,5;$$

$$U_{изх} = K_{м.ч} \cdot U_{вх} = 47,5 \cdot 0,32 = 15,2 \text{ в.}$$

Последното напрежение се подава по-нататък на диоден детектор за детектиране.

213. Да се провери дали междинночестотният усилвател от задача 212 ще усилва устойчиво.

Решение. Пентодът 2К2М има междueleктроден капацитет $C_{ар} = 0,02 \text{ пф}$. Най-голямото устойчиво усиление се определя с формула 117

$$K_{уст} = 0,63 \sqrt{\frac{0,00095}{6,28 \cdot 465 \cdot 000 \cdot 0,0000000000002}} = 75.$$

Понеже $K_{уст} = 75 > 47,5$, усилвателят усилва устойчиво. Забележка. По същия въпрос виж и задача 168.

* * *

Суперхетеродинният радиоприемник работи нормално в няколко подбавата и твърде често е без резонансен усилвател — входящият сигнал се подава направо в преобразувателя. На рис. 91 е дадена схемата на преобразувателя на радиоприемниците „Мир“, „Дружба“ и „Септември“, в които липсва резонансен усилвател. От схемата се виждат входните и хетеродинните кръгове за трите вида вълни: къси (от 5,8 до 18 мхц), средни (от 520 до 1600 кхц) и дълги вълни (от 150 до 400 кхц). Индуктивностите на разните бобини и някои други техни данни са показани в таблица 3-та. Капацитетите в пикофаради (пф) на показаните кондензатори са означени на самата схема. Въртящите се въздушни кондензатори имат максимален капацитет 500 пф.

Понеже хетеродинът е изпълнен по триточковата автотрансформаторна схема, катодът на лампата чрез превключвача за трите вида вълни (к, ср, д) е съединен със средната точка на съответната бобина (L_1 , L_2 и L_3). Хетеродинният кръг за средни вълни има кондензатор за съгласуване с капацитет

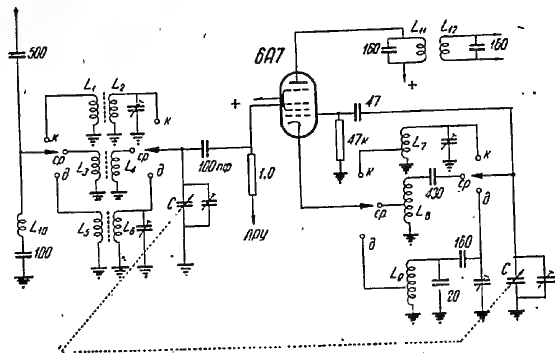


Рис. 91

Таблица 3

Боби	Вид на плетката	Проводник, мм	Индуктивност, мкх	Съпротивление, ом	Брой на навивките, ш	Q-фактор
L ₁	универсална	0,11, ем. копринен	7,5	0,8	25	29
L ₂	еднослойна	0,72 ем.	1,45	<0,05	17	70
L ₃	универсална	0,11 ем. копринен	600	3	238	25
L ₄	"	15 × 0,05 лицендрат	200	2,6	130	120
L ₅	"	0,1 ем. копринен	6000	100	780	53
L ₆	"	0,15 ем. копринен	2300	20	430	64
L ₇	еднослойна	0,72 ем., 0,15 ем. копринен	1,3 общо	0,45	10+3	57
L ₈	универсална	0,15 ем. копринен	92 общо	10	88+7	32
L ₉	"	0,15 ем. копринен	400 общо	22	180+15	35
L ₁₀	универсална двойна	15 × 0,05 лицендрат	850	—	320	70
L ₁₁	"	"	650	6	242	110
L ₁₂	"	"	650	6	242	110

$C_{свд} = 430$ пф, а кръгът за дълги вълни е с $C_{свд} = 160$ пф. Кръгът за къси вълни е без кондензатор за съгласуване (падинг).

Кръговите бобини са навити върху бакелитни цилиндрични тела със среден диаметър $D=8$ мм.

6. КАЧЕСТВЕНИ ПОКАЗАТЕЛИ НА РАДИОПРИЕМНИЦИТЕ

а. Чувствителност. Под чувствителност на радиоприемника се разбира способността му да приема слаби сигнали. Колкото по-слаб е приетият сигнал, толкова и чувствителността е по-голяма. Тя зависи от общото усилване на радиоприемника

$$K_{общ} = \frac{U_{изх}}{m E_A}, \quad (172)$$

където $U_{изх}$ е изходящото напрежение на радиоприемника (напрежението в товарното съпротивление на крайната лампа), E_A — антенната електродвижеща сила с носеща честота, а m — дълбочината на модулацията.

Количествено чувствителността се изразява с електродвижещата сила E_A , модулирана с ниската честота $F=400$ хц при $m=30\%$, при която в изхода на приемника се получава нормална мощност (например мощност 50 мвт).

Чувствителността може да се изрази и с децибели съгласно формулата

$$\text{Чувствителност} = 20 \log \frac{1000000}{E_A}. \quad (173)$$

б. Избирателността на радиоприемника се изразява с неговата обща резонансна характеристика (рис. 92). Всяка точка от тази крива показва колко пъти по-голяма трябва да бъде електродвижещата сила на смущаващия сигнал, честотно отклонен на Δf от честотата на полезния (желания) сигнал, на който са настроени трептящите кръгове във високочестотната част на радиоприемника, за да се получи в изхода все един и същ по големина изходящ сигнал. Понеже по отношение на смущаващите сигнали приемникът е разстроен, затова тези сигнали трябва да се подават с по-голяма амплитуда в сравнение с желания резонансен сигнал.

в. Честотната пропускателност може да бъде определена от резонансната крива на рис. 92. Широчината $2\Delta f$ на пропусканата честотна лента се определя от честотите f_1 и f_2 , за които усилването е понижено 2 пъти или изразено в децибели: $20 \log 2 = 6$ db.

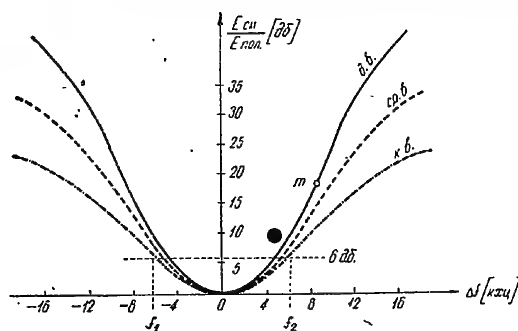


Рис. 92

Задачи

214. В приемната антена е индуктирана електродвижеща сила, $E_A = 40 \text{ мкв} = 0,00004 \text{ в}$ при $m = 0,6 = 60\%$; в изхода на приемника е произведено променливо напрежение $U = 24 \text{ в}$. Колко е общото усиление?

Решение. Съгласно формула 172

$$K_{\text{общ}} = \frac{U_{\text{изх}}}{m E_A} = \frac{24}{0,6 \cdot 0,00004} = 1\,000\,000.$$

● В децибели усиляването е $20 \log 1\,000\,000 = 120 \text{ дб}$.

215. Чувствителността на един доброкачествен суперхетеродинен радиоприемник е 10 мкв . Да се изрази същата чувствителност в децибели.

Решение. Съгласно формула 173

$$\text{чувствителността} = 20 \log \frac{1\,000\,000}{10} = 100 \text{ дб}.$$

Числото 1 000 000 във формула 173 означава броя на микроволтите в един волт; следователно отношението $\frac{1\,000\,000}{E_A}$ показва колко пъти е. д. с. в антената е по-малка от 1 в — в конкретния случай E_A е 100 000 пъти по-малка от 1 в или все едно в сравнение с 1 в E_A представлява напрежително ниво — 100 дб.

216. На рис. 92 са дадени три резонансни характеристики на един радиоприемник: за дълги, средни и къси вълни. Да се определи с помощта на тези криви честотната пропускателност $2\Delta f$.

Решение. На ниво 6 дб се прокарва хоризонтална права; от пресечната точка на същата със съответните резонансни криви се определя широчината на пропусканата честотна лента, а именно: за дълги вълни $2\Delta f = 2,4 = 8 \text{ кГц}$, за средни вълни $2\Delta f = 2,5 = 10 \text{ кГц}$ и за къси вълни $2\Delta f = 2,6 = 12 \text{ кГц}$.

217. От резонансната крива за дълги вълни на рис. 92 се вижда, че за разстройка $\Delta f = 8 \text{ кГц}$ от резонансната честота смущаващият сигнал е с 18 дб по-слабо усилен в сравнение с полезния. Колко пъти по-слаб е смущаващият сигнал?

От уравнението

$$20 \log \frac{U_{\text{рез}}}{U_{\text{см}}} = 18$$

$$\text{намираме, че } \log \frac{U_{\text{рез}}}{U_{\text{см}}} = \frac{18}{20} = 0,9.$$

От логаритмичната таблица се вижда, че на логаритъм 0,9 съответствува отношението $\frac{U_{\text{рез}}}{U_{\text{см}}} = 7,95 \approx 8$. Следователно смущаващият сигнал, разстроен на 8 кГц от резонансната честота, е 8 пъти по-слаб, отколкото резонансния сигнал.

7. ЦЯЛОСТНО ИЗЧИСЛЕНИЕ НА ЛЮБИТЕЛСКИ ЛИНЕЕН РАДИОПРИЕМНИК

Радиолюбител решава да си построи линеен радиоприемник, който се захранва от мрежата и има изходяща променливо-токова мощност около 3 вт и работи в два вълнови обхвата: 1) с вълна от 30 до 60 м и 2) с вълна от 55 до 100 м; приемникът трябва да бъде изпълнен за приемане както на телефония, така и на немодулирана телеграфия.

Радиолюбителят решава приемникът да му бъде тристъпален (рис. 93). От справочника за радиолампите той избира за крайна лампа пентодът 6Ф6, който произвежда променливо-токова изходяща мощност $P = 3,2 \text{ вт}$. За второто стъпало — решетъчен детектор с обратна връзка — той определя високочестотен пентод 6Ж7, за резонансния усилвател (първото стъпало) — пентода 6К7. Токоизправителното стъпало решава да изпълни с кенотрона 5Ц4С или 6Ц5С.

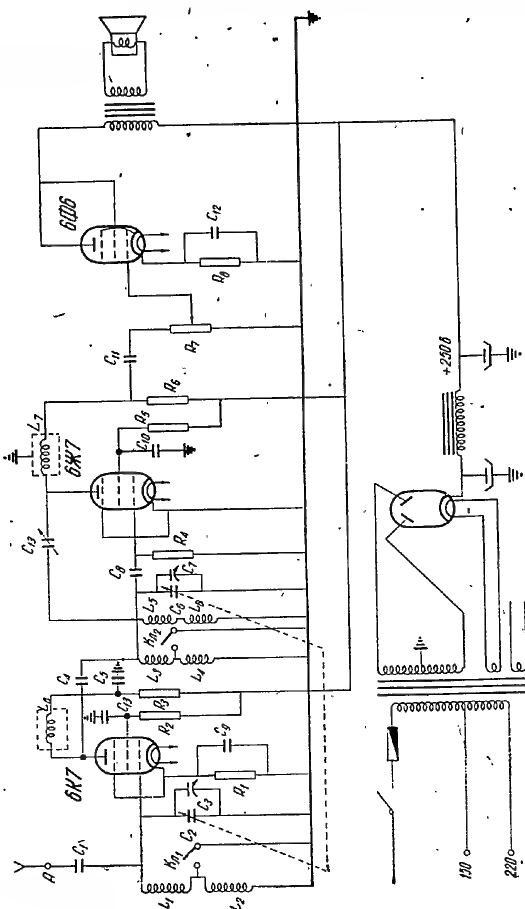


Рис. 93

Последователност на изчислението на радиоприемника

а. Изчисление на крайното съгласие

1. Установяване на характерните данни за пентода 6Ф6. От ламповия справочник се установяват следните данни: $U_{отопл.}=6,3$ в; $I_{отопл.}=0,7$ а, $U_{an}=250$ в, $E_{p1}=250$ в, $E_{p2}=-16,5$ в, $I_{a0}=34$ ма, $I_{p1}=7$ ма, $S=2,5 \frac{ма}{в}$, $R_i=80$ кома, $R_a=7$ кома, $P_a=3,2$ вт.

2. Изчисление на изходния трансформатор. Избира се динамичен високоговорител със съпротивление на звуковата бобина (шпунката) $R_{a.2}=3$ ома и с мощност 3 вт (с няколко процента по-малка от изходящата мощност на лампата поради загубите в трансформатора). Определя се преводното отношение на трансформатора с формула 148, като се държи сметка, първо, за коефициента на полезното му действие, който в случая се приема $\eta=0,75$ и, второ, за активното съпротивление на звуковата бобина $R_{a.2}$ за средните звукови честоти; за тези честоти то е средно 1,2 пъти по-голямо от постояннотоковото активно съпротивление — за изчислението следователно $R_{a.2}=1,2 \cdot 3=3,6$ ома.

$$\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{R_{a.1} \eta}{R_{a.2}}} = \sqrt{\frac{7000 \cdot 0,75}{3,6}} = 38.$$

Следователно вторичната намотка ще има 38 пъти по-малко навивки в сравнение с първичната. Но колко са навивките w_1 на първичната намотка? Тези навивки могат да се определят, като се знаят: 1) индуктивността L_1 на първичната намотка, 2) напречното сечение S на желязната сърцевина на трансформатора, 3) средната дължина L_m на магнитната силова линия и 4) степента на предмагнетизирането на сърцевината.

Индуктивността L_1 на първичната намотка на изходния трансформатор при пентодна лампа се изчислява с формулата

$$L_1 = \frac{0,346 R_i}{F_n} \frac{R_a}{R_i + R_a}, \quad (174)$$

където F_n е най-ниската звукова честота, а при триоден усилвател с формулата

$$L_1 = \frac{0,7 R_i}{F} \frac{R_a}{R_i + R_a}. \quad (174a)$$

В конкретния случай (при крайния пентод 6Ф6С) и за $F_n = 100$ хц

$$L_1 = \frac{0,346 \cdot 80\,000}{100} \cdot \frac{7000}{80\,000 + 7000} = 22,16 \text{ хн} \approx 22 \text{ хн.}$$

Напречното сечение на средния клон на Ш-образната желязна сърцевина на изходния трансформатор може да бъде избрано от таблица 4-та. Избира се сърцевина, издълбена с пластини Ш-20 и имаща напречно сечение $S = 7,04^2$ см при средна дължина на магнитната силова линия $l_m = 15,6$ см (означението Ш-20 означава, че средният клон е с ширина $l_c = 20$ мм) (рис. 94).

Таблица 4

Железни сърцевини на изходните трансформатори

Тип на пластините	Ширина S на средния клон, мм	Дължина l , мм	Прозорец		Средна дължина на магнитната силова линия, см	Чисто сечение S на средния клон, см ²
			a , мм	h , мм		
Ш-10	10	10	5	15	5,57	0,88
		15	5	15	5,57	1,32
		20	5	15	5,57	1,76
Ш-12	12	12	6	18	6,68	1,27
		18	6	18	6,68	1,90
		24	6	18	6,68	2,54
Ш-14	14	14	7	21	7,8	1,73
		21	7	21	7,8	2,59
		28	7	21	7,8	3,45
Ш-18	18	27	9	27	10	4,28
		36	9	27	10	5,71
Ш-20	20	40	18	56	15,6	7,04
Ш-25	25	25	31,5	58	23	6,25

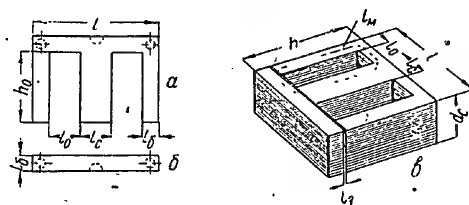


Рис. 94

Броят w_1 на първичните навивки се определя с формулата

$$w_1 = G \sqrt{L_1} \sqrt{\frac{l_m}{S}} \quad (175)$$

Коефициентът G в последната формула е зависим от степента на намагнетизиране на желязната сърцевина; това намагнетизиране е определено от ампернавивките на 1 см от средната магнитна силова линия l_m , като ролята на намагнетизиращ ток тук изпълнява постояннотоковата съставна на анодния ток $I_a = 0,034$ а. От таблица 4-та се вижда, че при Ш-20 средната магнитна линия $l_m = 15,6$ см; при вероятен брой на първичните навивки $w_1 \approx 5000$ се получава магнитно възбуждане

$$\frac{I_a \cdot w_1}{l_m} = \frac{0,034 \cdot 5000}{15,6} \approx 11 \frac{\text{ампернавивки}}{\text{см}}$$

От следващата таблица 5-та се намира, че за такова магнитно възбуждане 11 $\frac{\text{а. н.}}{\text{см}}$ коефициентът G има стойност 680. Тази стойност на G се поставя във формула 175 и се определя броят на първичните навивки

$$w_1 = G \sqrt{L_1} \sqrt{\frac{l_m}{S}} = 680 \sqrt{22} \cdot \sqrt{\frac{15,6}{7,04}} = 4760.$$

Вторичните навивки ще бъдат 38 пъти по-малко:

$$w_2 = \frac{w_1}{38} = \frac{4760}{38} = 125.$$

Таблица 5

Ампернавивки, с.м.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
G	475	505	530	565	600	610	633	650	665	675	680	690

Диаметърът на проводника (чиста мед без изолацията) на първичната намотка се определя с помощта на таблица 2-ра, дадена на стр. 55, за ефективната стойност на пулсиращия прав аноден ток

$$I_{aef} = \sqrt{I_{a-}^2 + \frac{I_{a2}^2}{2}} \quad (\text{виж задача 90}). \quad (176)$$

В последната формула I_{a-} е правотоковата съставна на анодния ток = 34 ма, а I_{a2} — максималната стойност на променливата съставна на същия ток. Тази стойност се намира с формулата за променливотоковата мощност

$$P_{-} = \frac{1}{2} I_{a-}^2 R_a, \text{откъдето } I_{a-} = \sqrt{\frac{2P_{-}}{R_a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,2}{7000}} = 0,03a = 30 \text{ ма.}$$

$$\text{Следователно } I_{aef} = \sqrt{34^2 + \frac{30^2}{2}} = 40 \text{ ма.}$$

В таблица 2-ра (стр. 55) на ток 40 ма съответства $d_1 = 0,17 \text{ мм.}$

Диаметърът на проводника на вторичната намотка се определя от ефективната стойност на вторичния ток I_2 , който се изчислява с формулата

$$I_2 = \sqrt{\frac{2P_{-}}{R_{a2}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3}{3,6}} = 1,3 \text{ а.}$$

На тока $I_2 = 1,3 \text{ а}$ в таблица 2-ра съответства диаметър $d_2 = 1,1 \text{ мм.}$

3. Изчисление на катодната група $R_8 - C_{12}$. Тази група служи за получаване на автоматично преднапрежение $E_p = -16,5 \text{ в.}$

$$\text{Катодното съпротивление } R_8 = \frac{E_p}{I_{a-} + I_p} = \frac{16,5}{0,034 + 0,007} = 400 \text{ ома.}$$

Катодният блоккондензатор C_{12} трябва да оказва на променливия аноден ток за най-ниската звукова честота $F_H = 100 \text{ хц}$ многократно по-малко съпротивление, отколкото е R_8 . Нека капацитивното съпротивление на C_{12} да е 10 пъти по-малко от R_8 , сиреч

$$X_c = \frac{1}{2\pi F_H C_{12}} = \frac{R_8}{10} = \frac{400}{10} = 40 \text{ ома.}$$

$$\text{Следователно } C_{12} = \frac{1}{2\pi F_H \cdot 40} = \frac{1}{6,28 \cdot 100 \cdot 40} = 0,000040 \text{ ф} = 40 \text{ мкф.}$$

Поставя се типов електролитен кондензатор с капацитет 50 мкф, който издържа право напрежение 20 в.

4. Стойност на съпротивлението R_7 и кондензатора C_{11} . Съпротивлението R_7 представлява потенциометър и има стойност 0,5 мгома. Капацитетът $C_{11} = 10\,000 \div 20\,000 \text{ пф.}$

5. Изчисление на необходимото възбуждащо напрежение. За да се получи максималната променливотокова мощност $P_{-} = 3,2 \text{ вт}$, на управляващата решетка на крайната лампа 6Ф6 трябва да се подаде променливо напрежение U_{p-} , което трябва да се равнява на анодното променливо напрежение U_{a-} , разделено с коефициента на усилване K .

Напрежението $U_{a-} = I_{a-} R_a = 0,03 \cdot 7000 = 210 \text{ в.}$
Съгласно формула 69 усилването $K = S R_a = 0,0025 \cdot 7000 = 17,5$.

$$\text{Следователно } U_{p-} = \frac{U_{a-}}{K} = \frac{210}{17,5} = 12 \text{ в.}$$

Това напрежение трябва да бъде произведено от предшестващото регенеративно стъпало. За да бъде подадено в пълната си амплитудна стойност 12 в, плъзгащият се контакт на потенциометъра R_7 трябва да бъде в горно крайно положение (виж схемата на рис. 93).

6. Изчисление на регенеративното стъпало

Регенеративното стъпало в схемата на рис. 93 е включено между резонансния усилвател и крайното стъпало. От задачи 157 и 158 се вижда, че усиленото високочестотно напрежение в изхода на резонансния усилвател е от порядъка на 8 – 20 миливолта. От такъв порядък следователно е и възбуждащото напрежение на регенеративното стъпало в проектирания радиоприемник. Понеже същото стъпало трябва да подава на крайната лампа напрежение 12 в, очевидно то трябва да притежава много голямо усилвателно действие — коефициентът му, на

предаване трябва да бъде около 1000. От задача 172 се вижда, че ако се употреби решетъчен детектор с триод, коефициентът на предаване е само 14,4 единици; ако същият триоден детектор се усъвършенствува с положителна обратна връзка, т. е. ако се преобрази в регенератор, коефициентът на предаване пораста 14 пъти и общото усиление на съгласното става 224 (виж задача 173).

Горните данни показват, че в проектирания радиоприемник не трябва да се употреби триоден регенератор. Високият коефициент на предаване (1000 единици) може да се осъществи само с пентоден регенератор. Затова в разглеждания случай е употребен пентодът 6Ж7, който има следните данни: $U_{отопл} = 6,3$ в, $I_{отопл} = 0,3$ а, $U_{a0} = 250$ в, $E_{p2} = 100$ в, $I_{p2} = 0,5$ ма, $E_{p1} = -3$ в, $I_{a0} = 2$ ма, $S = 1,2 \frac{ма}{в}$, $R_1 = 1200$ кома.

1. Изчисление на височестотната част на регенератора,

Първи обхват: $\lambda = 30 \div 60$ м.

Избира се променлив (въртящ се) кондензатор с максимален капацитет (при затворен ротор) $C_{макс} = 85$ пф и минимален $C_{мин} = 10$ пф. Приема се допълнителен паралелен капацитет, $C_{пар} = 15$ пф. Този капацитет представлява съвкупност от донастройващия капацитет C_1 и разни монтажни и паразитни капацитети. Следователно максималният кръгов капацитет, съответстващ на най-дългата вълна, $C_{кр,макс} = 85 + 15 = 100$ пф, а минималният, съответстващ на най-късата вълна, $C_{кр,мин} = 10 + 15 = 25$ пф.

Индуктивността L_3 на кръговата бобина се определя с формулата на Томсон $f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_3C}}$, откъдето

$$L_3 = \frac{1}{(2\pi)^2 f_{мин}^2 \cdot C_{кр,макс}};$$

$$f_{мин} = \frac{300\,000\,000}{\lambda_{макс}} = \frac{300\,000\,000}{60} = 5\,000\,000 \text{ хц};$$

$$L_3 = \frac{1}{40 \cdot 5\,000\,000^2 \cdot 0,000000001} = 0,00001 \text{ хн} = 10 \text{ мкхн.}$$

Понеже при отворен кондензатор $C_{кр,мин} = 25$ пф е 4 пъти по-малък от $C_{кр,макс} = 100$ пф, затова собствената честота на кръга съгласно формулата на Томсон ще бъде два пъти по-висока, сиреч вълната ще бъде два пъти по-къса: $\lambda = 30$ м.

Втори обхват: $\lambda = 55 \div 100$ м.

Понеже в този обхват се употребява бобина с повече навивки и следователно има по-голям собствен капацитет, за минимален кръгов капацитет приемаме по-голяма стойност: $C_{кр,мин} = 30$ пф. На този капацитет съответствува най-късата вълна на обхвата: $\lambda_{мин} = 55$ м и най-високата честота.

$$f_{макс} = \frac{300\,000\,000}{55} = 5\,454\,500 \text{ хц.}$$

Индуктивността на кръга за II обхват е

$$L_{II} = \frac{1}{(2\pi)^2 f_{макс}^2 \cdot C_{кр,мин}} = \frac{1}{40 \cdot 5\,454\,500^2 \cdot 0,0000000003} = 0,0000277 \text{ хн} = 27,7 \text{ мкхн.}$$

Максималният кръгов капацитет също пораста с 5 пф, сиреч $C_{кр,макс} = 100 + 5 = 105$ пф.

На този капацитет и на индуктивността $L_{II} = 27,7$ мкхн съответствува най-ниската обхватна честота

$$f_{мин} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{II} \cdot C_{кр,макс}}} = \frac{1}{6,28\sqrt{0,0000277 \cdot 0,000000000105}} = 2900\,000 \text{ хц.}$$

$$\text{Следователно } \lambda_{макс} = \frac{300\,000\,000}{2\,900\,000} = 103,4 \text{ м.}$$

Получената стойност на $\lambda_{макс}$ е близка до първоначално зададената $\lambda = 100$ м.

Индуктивността 27,7 мкхн се равнява на сбора от индуктивностите на бобините L_3 и L_4 в схемата на рис. 93. Когато приемникът работи в първи обхват, бобината L_4 е дадена накъсо чрез ключа K_{L_4} . При втори обхват L_4 се включва последователно на L_3 . Понеже $L_3 = 10$ мкхн, $L_4 = 27,7 - 10 = 17,7$ мкхн.

Изчислението на бобината L_3 с индуктивност 10 мкхн е дадено в задача 11 чрез използване на формула 10. Тази бобина има навивка $w_3 = 44$.

Със същата формула се определят и навивките на бобината L_4 , а именно

$$w_4 = 58.$$

Двете бобини се навиват еднослойно, една до друга върху общо тяло.

Колко навивки трябва да имат бобините за обратна връзка L_5 и L_6 ? При приемане на телеграфия решетъчният детектор с лампа 6Ж7 трябва да се самовъзбуди.

Съгласно формула 70 коефициентът на взаимоиндуктивност между бобините L_3 и L_5

$$M = K_{o.s} \cdot L_3$$

Коефициентът $K_{o.s} = D + \frac{1}{S Z_p}$ (виж формула 70).

Понеже D на пентода е нищожен, той се пренебрегва, следователно $K_{o.s} = \frac{1}{S Z_p}$. Резонансният импеданс на кръга за най-ниската честота на обхвата (5 мкхн), за която капацитетът на кръга е максимален $C_{max} = 100$ пф, е

$$Z_p = \frac{L}{R C_{max}}$$

Активното съпротивление на кръга може да се вземе като отношение между индуктивното съпротивление на кръговата бобина

$$2\pi f L = 6,28 \cdot 5\,000\,000 \cdot 0,00001 = 314 \text{ ома}$$

и качествения фактор на кръга; приемаме $Q = 75$.

$$R = \frac{2\pi f L}{Q} = \frac{314}{75} = 4,2 \text{ ома};$$

$$Z_p = \frac{0,00001}{4,2 \cdot 0,0000000001} = 23\,800 \text{ ома.}$$

Следователно $K_{o.s} \geq \frac{1}{S Z_p} = \frac{1}{0,0012 \cdot 23\,800} \geq 0,035$.

Приемаме $K_{o.s} = 0,2$.

$$M = K_{o.s} \cdot L_3 = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ мкхн.}$$

Ако приемем, че между L_3 и L_5 съществува геометрична връзка $\kappa = 0,4 = 40\%$, от формулата $M = \kappa \sqrt{L_3 L_5}$ намираме индуктивността

$$L_5 = \frac{M^2}{\kappa^2 L_3} = \frac{2^2}{0,4^2 \cdot 10} = 2,5 \text{ мкхн,}$$

на която съгласно формула 10 съответствуват $\omega_5 = 22$ навивки (половината от навивките на L_3).

За бобината L_6 приемаме, че е 4 пъти по малка от L_4 , т. е. че има също така два пъти по-малко навивки от L_4 ;

$$L = \frac{17,7}{4} = 4,40 \text{ мкхн.}$$

$$\omega_6 = \frac{58}{2} = 29.$$

Конструктивно изпълнение: бобината L_5 се намотава върху бобината L_3 , а L_6 — върху бобината L_4 .

Стойности на C_8 , C_{13} , R_4 и L_7 .

Кондензаторът C_8 е с капацитет 100 пф.

Оттечното съпротивление $R_4 = 1$ мгом.

C_{13} е кондензаторът за регулиране степента на обратната връзка — променлив кондензатор със слюдена изолация с капацитет 10—100 пф.

Бобината L_7 представлява дросел за висока честота. Индуктивното му съпротивление трябва да бъде около 100 пъти по-голямо от съпротивлението на клоната за обратната връзка $C_{13} - L_5 - L_6$. Като се пренебрегне съпротивлението на C_{13} , приема се

$$L_7 = 100 (L_5 + L_6) = 100 (2,5 + 4,5) = 700 \text{ мкхн.}$$

Дроселът L_7 се намотава многослойно и се изчислява с формула 11. С данни от задача 12 при $L = 700$ мкхн се изчислява броят на навивките му

$$\omega = 230 \text{ навивки.}$$

2. Изчисление на нискочестотната част на регенератора

Приемаме за товарно съпротивление на нискочестотната усилвателна част на детектора

$$R_a = R_6 = 200 \text{ кома.}$$

Коефициентът на усилване на пентоден усилвател се определя с формула 69

$$K = S R_a = 0,0012 \cdot 200\,000 = 240.$$

Благодарение на обратната връзка между анодната и решетъчната верига коефициентът на усилване на стъпалото съгласно формула 129 се повишава. Степента на повишаване на този коефициент зависи от капацитета на кондензатора C_{13} , който е изменяем. За разните честоти в обхвата коефициентът на усилване се повишава в различна степен. Приемаме, че средно взето повишаването на усилването е 4 пъти. Следователно общото усилване по ниска честота на стъпалото е

$$K_{н.н} = 240 \cdot 4 = 960 \approx 1000.$$

Понеже възбуждащото напрежение за нискочестотния усилвател е 12 в (виж стр. 173), в решетъчното съпротивление R_4 на

регенератора в резултат на решетъчната детекция трябва да се произведе 1000 пъти по-малко напрежение, сиреч

$$U_{p\sim} = 12 : 1000 = 0,012 \text{ в} = 12 \text{ мв.}$$

На това нискочестотно напрежение при коефициент на предаване на решетъчната верига, взета като детекторна, $K=0,9$ и коефициент на модулацията примерно $m=0,8$, съгласно формула 122 съответствува амплитуда на входящото високочестотно напрежение

$$U_{в.ч} = \frac{U_{н.ч}}{K \cdot m} = \frac{12}{0,9 \cdot 0,8} = 17 \text{ мв.}$$

Следователно високочестотният усилвател трябва да произведе в анодния трептящ кръг $L_3 C_6$ напрежение със средна амплитуда (амплитуда на носещото трептене)

$$U_{а\sim} = 17 \text{ мв.}$$

в) Изчисление на резонансния усилвател

1. Установяване на характерните данни на високочестотния пентод 6К7. Тези данни се вземат от ламповия справочник, а именно:

$$U_{отп.а} = 6,3 \text{ в}, I_{отоп.а} = 0,3 \text{ а}, U_{а0} = 250 \text{ в}, E_{p2} = 125 \text{ в},$$

$$E_{p1} = -3 \text{ в}, I_{а0} = 10,5 \text{ ма}, I_{p2} = 2,6 \text{ ма}, S = 1,65 \frac{\text{ма}}{\text{в}},$$

статичен коефициент на усилване $\mu=1000$, $R_p=600 \text{ кома.}$

2. Изчисление коефициента на усилване на стъпалото. Резонансният коефициент на усилване на стъпалото се определя с формула 109:

$$K_p = S Z_a.$$

Понеже анодният импеданс Z_a се изменя в обхвата, затова и коефициентът на усилване е различен за различните честоти. Съгласно направеното изчисление на стр. 176 за най-ниската честота на първия обхват $f_{мин} = 5\,000\,000 \text{ хц}$ стойността на анодния импеданс е $Z_p = 23\,800 \text{ ома.}$ Следователно

$$K_p = S \cdot Z_a = 0,00165 \cdot 23\,800 = 39,2.$$

За най-високата честота на първия обхват $f_{макс} = 10\,000 \text{ кхц}$, която е два пъти по-висока от $f_{мин} = 5\,000 \text{ кхц}$, анодният импеданс Z_a пораства повече от два пъти. Понеже капацитетът

$C = 25 \text{ пф}$ за $f_{макс}$ е 4 пъти по-малък от капацитета при $f_{мин}$, съгласно формулата $Z = \frac{L}{RC}$ импедансът би трябвало да порасне 4 пъти. Това обаче не става, защото и активното съпротивление R пораста средно взето $\sqrt{2}$ пъти (от теоретичната радиотехника е известно, че съпротивлението на жиците проводници пораста корен квадратен пъти от повишаване на честотата). Следователно за $f_{макс} = 10\,000 \text{ кхц}$

$$Z_p = \frac{L}{\sqrt{2} R \frac{C}{4}} = 2,8 \cdot \frac{L}{RC} = 2,8 \cdot 23\,800 = 66\,640 \text{ ома.}$$

Този резултат показва, че и усилването ще порасне 2,8 пъти:

$$K_{p, макс} = 39,2 \cdot 2,8 = 109,7.$$

Чрез по-подробен математичен анализ може да се докаже, че и за втори обхват ($\lambda = 55 \text{ м} \div 100 \text{ м}$) усилването при първо приближение се изменя в същите граници: средно взето от 40 до 110 пъти.

В направеното дотук изчисление не е взето предвид влиянието на вътрешното съпротивление на лампата 6К7, влиянието на входното съпротивление на пентода 6Ж7 и влиянието на отечното съпротивление R_d на същата лампа върху анодния импеданс Z_a на резонансния усилвател. По-подробният математичен анализ показва, че поради споменатите влияния импедансът се понижава от 10 до 30% за разните честоти в двата обхвата. Следователно и коефициентът на усилване ще се понижи в такава степен. Най-силно е понижаването за най-високата честота. Затова приемаме, че за най-ниските честоти на двата обхвата усилването ще бъде с 10% по-малко, сиреч

$$K_{p, мин} = 0,9 \cdot 39,2 \approx 35,$$

а за най-високите честоти усилването ще се понижи с 30%

$$K_{p, макс} = 0,7 \cdot 109,7 \approx 77.$$

Устойчивостта на усилването трябва да се провери с формула 117, и то за най-високата честота $f_{макс} = 10\,000\,000 \text{ хц}$ или за $\omega = 2\pi f = 62\,800\,000 \frac{1}{\text{сек}}$. Пентодът 6К7 има аноднорешетъчен капацитет $C_{ар} = 0,003 \text{ пф.}$ Следователно

$$K_{уст} = 0,63 \sqrt{\frac{S}{\omega C_{ар}}} = 0,63 \sqrt{\frac{0,00165}{62\,800\,000 \cdot 0,000000003}} = 60.$$

Понеже $K_{уст} = 60$ е по-малко от $K = 77$, за най-високата честота няма да се получи най-голямо устойчиво усилване. Дали обаче усилвателят ще се самовъзбуди поради паразитната обратна връзка през $C_{ар}$, това може да се провери с дадената на стр. 126 формула 118. Тази формула показва, че дори и без да се вземе предвид посоченото в предшестващото изложение понижаване на Z_a , сиреч ако за Z_a се вземе стойността $Z_a = 2,8 \cdot 23\,800 = 66\,640$ ома, усилвателят няма да се самовъзбуди. И наистина

$$62\,800\,000 \cdot 0,000000000000003 \cdot 0,0016^2 \cdot 66\,640^2 = 1,2 < 2.$$

Все пак, за да се получи и най-голямо устойчиво усилване, полезно ще бъде отчетното съпротивление R_a на решетъчния детектор да се понижи примерно на 500 ома.

Ако приемем, че за някоя средна честота усилването има средна стойност $K_{ср} = 60$, при анодно променливо напрежение $U_a = 17$ мв (виж стр. 178) на управляващата решетка на 6К7 трябва да се подаде възбуждащо напрежение

$$U_{р\sim} = \frac{U_a}{K_{ср}} = \frac{17}{60} = 0,283 \text{ мв} = 283 \text{ мкв.}$$

3. Определяне останалите елементи на усилвателя. Катодното съпротивление

$$R_k = \frac{E_{р1}}{I_{a0} + I_{р2}} = \frac{3}{0,013} \approx 230 \text{ ома.}$$

Капацитетът C_9 трябва да представлява късо съединение за високата честота. Той е от порядъка на 0,1 мкф и затова приемаме $C_9 = 0,1$ мкф.

Високочестотният дросел L_8 е еднакъв с дросела $L_7 = 700$ мкхн и има навивки $w_8 = 230$ (виж съответното изчисление на стр. 177).

За капацитета на блок-кондензаторите C_5 и C_{13} приемаме също така стойност 0,1 мкф.

Свързващият кондензатор C_4 може да бъде от порядъка на 1000 пф.

Съпротивлението R_5 заедно с капацитета C_5 образуват развързващ филтър. Стойността на R_5 е от порядъка на 10 ома.

Съпротивлението R_6 е гасещо и има задача да понижи напрежението 250 в, подадено от токоизправителя, до 125 в. Сиреч в него трябва да се получи падение на напрежение 250 в.

— 125 = 125 в. При ток в екраниращата решетка $I_{р2} = 2,6$ ма = 0,0026 а, стойността на R_6 ще бъде

$$R_6 = \frac{125}{I_{р2}} = \frac{125}{0,0026} = 48\,000 \text{ ома.}$$

Поставя се типово съпротивление $R_9 = 50\,000$ ома.

г) Входни вериги

За по-късите вълни ($\lambda = 30 \div 60$ м) входният трептящ кръг се състои от индуктивността L_1 , въртящия се кондензатор C_2 и паралелно включения към него донастройващ кондензатор C_3 ; за обхвата на по-дългите вълни ($\lambda = 55 \div 100$ м) капацитетът $C_2 + C_3$ остава същият; индуктивността обаче се увеличава, като на бобината L_1 се включва последователно бобината L_2 . Бобината L_1 по индуктивност и конструктивно изпълнение е еднаква с бобината L_3 , а L_2 е равна на L_4 .

Понеже входният и анодният трептящ кръг са включени при различни монтажни условия, при монтиране на приемника е необходимо точната настройка на двата кръга в резонанс да се извършва практически чрез тримера C_3 , а може да се наложи да се донавият допълнително по няколко навивки към L_1 и L_2 .

Въртящият се кондензатор C_2 е еднотипен с C_6 и на двата роторите са монтирани на обща ос.

Свързващият кондензатор C_1 има капацитет около стотина пикофарада.

Ако приемем, че коефициентът на предаване е 5, антенната е. д. с. трябва да бъде $U_{р2} : 5 = 283 : 5 \approx 57$ мка.

д) Изчисление мощността на токоизправителя

Съгласно посочените данни в предшестващото изложение токоизправителят трябва да доставя при напрежение 250 в постоянен ток: 1) за крайната лампа $I_{a0} + I_{р2} = 34 + 7 = 41$ ма; 2) за регенеративната лампа 6Ж7 $I_{a0} + I_{р2} = 2 + 0,5 = 2,5$ ма и 3) за пентода 6К7 токът $I_{a0} + I_{р2} = 10,5 + 2,6 = 13,1$ ма. Общият постоянен ток: $I_{\text{общ}} = 41 + 2,5 + 13,1 = 56,6$ ма.

При напрежение 250 в мощността на този ток е

$$P_0 = U_{\sim} \cdot I_{\sim} = 250 \cdot 0,0566 = 14 \text{ вт.}$$

От справочника за радиолампи се вижда, че кенотронът 5Ц4С произвежда среден изправен ток 125 ма, а кенотронът

6Ц5С — ток 70 мА. Понеже за радиоприемника е необходим общ изправен ток 56,5 мА, който е по-малък от 70 мА, трябва да се предпочете по-икономичният по отопление кенотрон 6Ц5С, имащ $U_{отопл} = 6,3$ в и $I_{отопл} = 0,6$ а (лампа 5Ц4С се нуждае за отопление от напрежение 5 в и ток 2 а).

За отопление на лампите се изразходва мощност:

$$\text{в } 6\Phi 6 : 6,3 \cdot 0,7 = 4,41 \text{ вт};$$

$$\text{в } 6Ж7 : 6,3 \cdot 0,3 = 1,89 \text{ вт};$$

$$\text{в } 6К7 : 6,3 \cdot 0,3 = 1,89 \text{ вт};$$

$$\text{в } 6Ц5С : 6,3 \cdot 0,6 = 3,78 \text{ вт}$$

$$\text{Всичко за отопление: } 11,97 \text{ вт.}$$

Общата изразходвана мощност следователно е

$$P_{общ} = 14 + 11,97 = 25,97 = 26 \text{ вт.}$$

За загуби в трансформатора се добавят още 25%. Ето защо той трябва да се изчисли за $1,25 \cdot 26 = 32,5$ вт. Интересно е да се отбележи, че срещу тази доставена от мрежата мощност високоговорителят консумира само 3 вт.

8. ПРЕКОНСТРУИРАНЕ НА ЛИНЕЙНИЯ РАДИОПРИЕМНИК В НАЙ-ПРОСТ СУПЕРХЕТЕРОДИН

Изчисленият линейен радиоприемник със схема на рис. 93 може да се преобрази в суперхетеродин чрез замяна на резонансния усилвател с преобразувател. Схемата на такъв най-прост суперхетеродин е без междинночестотен усилвател (рис. 95). В случая загубата на усилване по междинната честота се компенсира с големия коефициент на усилване на решетъчния детектор с обратна връзка (регенератора) с лампа 6Ж7. Това стъпало (регенераторът), изчислено за линейния приемник, се използва с нискочестотната си част без изменение и в суперхетеродина. Третият му кръг в решетъчната верига обаче трябва да бъде подменен със съвсем нов кръг, настроен на постоянна междинна честота.

За да избегне изчисляването на кръговете, радиолубителят решава да използва дадената на рис. 91 схема на преобразувателя на радиоприемниците „Мир“, „Дружба“ и „Септември“, изпълнен с лампа 6А7.

Суперхетеродинът на рис. 94 работи в три обхвата: къси вълни (от 5,8 до 18 мхц), средни вълни (от 520 до 1600 кхц)

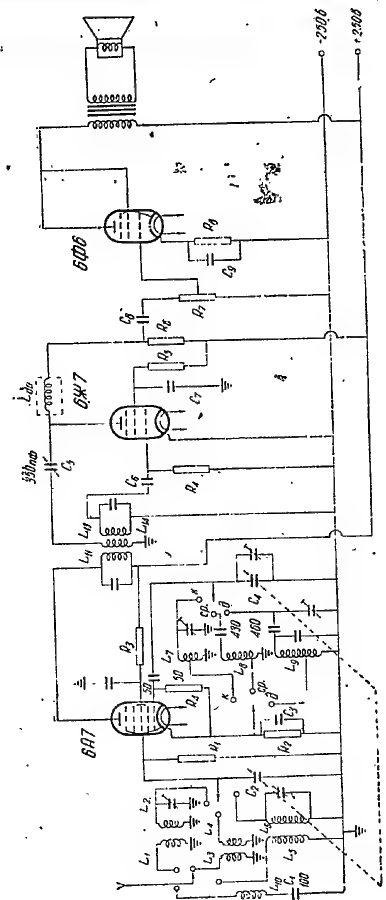


Рис. 95

и дълги вълни (от 150 до 400 кхц). Данни за бобините са поместени в таблица 3, а стойностите на някои кондензатори са означени на схема 91, а също и на схема 94. Двата въртящи се кондензатора C_3 и C_4 имат максимален капацитет 500 пф.

Бобината за обратна връзка L_{13} се намотава между двете бобини L_{11} и L_{14} върху общо тяло. Тя има 15—20 навивки и е изпълнена с проводник с диаметър 0,15—0,2 мм. При приемане на телефония кондензаторът C_5 се поставя в положение, близко до самовъзбуждане на регенератора; при приемане на телеграфия този кондензатор се завърта повече до степен на самовъзбуждане на регенератора.

Преобразувателната лампа 6A7 е пентагрид; първата и втората решетка участват в хетеродина, а трета, четвърта и пета — в преобразувателната част на лампата. Втората и четвъртата решетка са съединени вътре в лампата; постоянното им напрежение е 100 в; втората решетка изпълнява функцията на анод, а четвъртата е екранираща. Напрежението на главния анод на лампата е 250 в. Понижаването на напрежението от 250 на 100 в за втората и четвъртата решетка се извършва в съпротивлението R_3 , което има стойност

$$R_3 = \frac{250-100}{0,0022} = 68\,000 \text{ ома (или закръглено 60 кома)}.$$

Знаменателят на горната дроб 0,0022 представлява токът през двете решетки: втората и четвъртата, а именно $I_{p2} = 2,2 \text{ ма}$.

Третата решетка е сигнална. Тя се нуждае от преднапрежение — 3 в. То се получава автоматично в катодното съпротивление R_2 вследствие протичането на емисионния ток

$$I_e = I_{a0} + I_{p2} = 3,5 + 2,2 = 5,7 \text{ ма}.$$

Големината на катодното съпротивление

$$R_2 = \frac{E_p}{0,0057} = \frac{3}{0,0057} = 530 \text{ ома, закръглено 500 ома}.$$

Блоккондензаторът C_3 има капацитет 0,1 мкф.

Високофреkwентният дросел L_{dp} в регенератора в сравнение със същия дросел L_7 в линейния приемник на рис. 93 трябва да има по-голяма индуктивност, защото тук той има задача да спира по-ниска честота — междинната $f_m = 465 \text{ кхц}$ (в схемата на рис. 93 той трябва да спира честоти в обхвата от 2900 до 10 000 кхц). Затова избираме L_{dp} с 3—4 пъти повече навивки в сравнение с L_7 , а именно

$$w_{dp} \approx 1000.$$

ОТГОВОРИ НА НЕРЕШЕНИТЕ ЗАДАЧИ

№ на задачата:

Отговор:

13. Съпротивлението $R = 6 \text{ ома}$.
14. Токът $I = 266 \text{ ма}$.
15. Честотата се изменя в отношение 1:3.
20. Индуктивността $L_2 = 200 \text{ мкхн}$.
26. Активното съпротивление $R = 10 \text{ ома}$.
27. Индуктивността $L = 168,75 \text{ мкхн}$; $f = 707 \text{ кхц}$.
28. Съпротивлението $R = 12,56 \text{ ома}$; $C = 127 \text{ пф}$.
35. Третиият кръг ще се даде пакъсо, вследствие на което генераторът ще остане без полюсно напрежение.
36. $f = 25 \text{ хц}$, $Z_p = 56 \text{ кома}$, $I_{ген} = 0,2 \text{ ма}$ и $I_{кр} = 6,28 \text{ ма}$.
43. Токът I_1 ще порасне от 1,8 ма на 100 ма.
44. Критичната връзка ще порасне 1,5 пъти: $K_{кр} = 1,95\%$.
45. Активните съпротивления: $R_1 = 10 \text{ ома}$, а $R_2 = 9,6 \text{ ома}$.
46. $R_1 = R_2 = 6 \text{ ома}$; $C_1 = C_2 = 556 \text{ пф}$, $M = 2 \text{ мкхн}$.
47. Когато първият кръг е последователен, токовете $I_1 = 321 \text{ ма}$ и $I_2 = 1,6 \text{ а}$; когато първият кръг е паралелен, токовете $I_1 = 8,6 \text{ ма}$ и $I_2 = 43 \text{ ма}$.
54. При заземена антена $\lambda = 20 \text{ м}$, а при незаземена $\lambda = 10 \text{ м}$.
55. Бобината $L_{yd} = 1,6 \text{ мкхн}$; $E_d = 40 \text{ в}$.
56. Антената не може да се настрои с вариометър; настройката трябва да се извърши с променлив кондензатор.
57. Основни вълни: $\lambda_1 = 16 \text{ м}$ (при незаземена антена) и $\lambda_2 = 32 \text{ м}$ (при заземена антена); хармоници: $\lambda_3 = 8 \text{ м}$, $\lambda_4 = 5,33 \text{ м}$, $\lambda_5 = 4 \text{ м}$ при незаземена антена и $\lambda_3 = 10,66 \text{ м}$, $\lambda_4 = 6,4 \text{ м}$, $\lambda_5 = 4,57 \text{ м}$.
59. Електродвижещата сила е $E = 25 \text{ мкс}$.
79. Напрежението $U_{эф} = 600 \text{ в}$.
84. За точка А' вътрешното съпротивление $R_i = 12 \text{ кома}$, а за точка А'' същото съпротивление $R_i = 7,4 \text{ кома}$.
86. Вътрешното съпротивление $R_i = 12,5 \text{ кома}$, пропускателността $D = 2\%$.
92. Анодният ток ще порасне.
93. При допирание на проводниците 5 и 2 или 6 и 2 отоплителната жичка на лампата ще изгори; анодната батерия ще се даде пакъсо при допирание на 5 и 1 (или 4) или 6 и 1 (или 4).
94. Анодното съпротивление $R_a = 7500 \text{ ома}$.

- 99 Стръмнината $S = 2 \frac{ma}{a}$.
- 108 Минималният коефициент $K_{0,a} = 5\%$.
- 109 Автоматичното преднапрежение, измерено с обикновен волтмер, ще бъде по-малко от действителното, което може да се установи с лампов волтмер.
- 110 Ще се получи прекъсната генерация.
- 111 Ако съпротивлението се даде някъсо, амплитудата на автоколебанията ще се увеличи.
- 121 При натоварване с настроена антена $Z_p = 13\,333\, \text{ома}$; при откъсена антена $Z_p = 66\,666\, \text{ома}$.
- 122 Анодът се затопля с мощност $2\, \text{вт}$.
- 123 Загубното съпротивление на кръга $R_{kp} = 4,4\, \text{ома}$, а внесено от антената вътре в кръга $\Delta R = 17,6\, \text{ома}$.
- 124 Кръговият ток при разстройката на антената се повишава.
- 125 Двете мощности ще станат по-малки.
- 126 а) съпротивлението $R_p = 20\, \text{кома}$; б) съпротивлението $R_k = 2\, \text{кома}$.
- 129 Абсолютната нестабилност $\Delta f = 1000\, \text{хц}$, а относителната $\frac{\Delta f}{f} = 0,000071$.
- 140 Коефициентът на модулацията $m = 0,32 = 32\%$.
- 141 Коефициентът на модулацията $m = 0,7 = 70\%$.
- 142 При решетъчната модулация от задача 137 е необходимо по-малко модулиращо напрежение, защото то влияе на анодния ток през управляващата решетка; последната пък е по-влиятелен електрод от анода, а чиято верига действа модулиращото напрежение при анодната модулация.
- 144 Индексите са: $M_1 = 20$, $M_2 = 2$, $M_3 = 1$, $M_4 = 0,5$.
- 148 Телеграфният сигнал има съставни с честоти: $f_1 = 4\,999\,940\, \text{хц}$; $f_2 = 4\,999\,980\, \text{хц}$; $f_3 = 5\,000\,000\, \text{хц}$; $f_4 = 5\,000\,020\, \text{хц}$; $f_5 = 5\,000\,060\, \text{хц}$.
- 155 Честотната пропускателност е $2\Delta f = 41\,203\, \text{хц}$ при $M = 2,7\, \text{мкхц}$ и $2\Delta f' = 77\,640\, \text{хц}$ при $M_{opt} = 14,6\, \text{мкхц}$.
- 159 Коефициентът на усилването K и анодното променливо напрежение ще се увеличат при замяна на лампа 2К2М с пентода 6К7.
- 163 Коефициентът на усилване $K_p = 47,5$.
- 167 Усилването се намалява с 40 децибела.
- 169 Усилвателят няма да се самовъзбуди.
- 177 Нискочестотното напрежение $U_{н.ч} = 1,08\, \text{в}$.
- 178 Изходящото нискочестотно напрежение $U_{а.ч} = 3\, \text{в}$.
- 179 Коефициентът на предаване на анодния детектор е по-голям от 1, защото този вид детектор има и усилително действие.
- 180 Коефициентът на предаване на решетъчния детектор е по-голям от същия коефициент на анодния детектор, защото първият има по-голямо усилително действие — при решетъчния детектор работната точка на лампата се намира в най-стръмния участък на характеристиката, а при анодния детектор същата точка е в долния полегат участък на характеристиката.

- 184 Входящото напрежение $U_{вх} = 100\, \text{мкс}$.
- 191 Напреженията $U_{p\, макс} = 5,25\, \text{в}$ и $E_p = -6,25\, \text{в}$.
- 193 Коефициентът на усилване $K_{cp} = 23$.
- 198 Съпротивлението $R_k = 525\, \text{ома}$.
- 202 Съпротивлението $R_k = 375\, \text{ома}$.
- 205 $R_{0,с} = 1000\, \text{ома}$.
- 206 Токът $I_{ef} = 47,7\, \text{ма}$.
- 207 Радиослушалките са високоомни, а високоговорителят — нискоомни; затова последният трябва да се включи през трансформатор към крайната лампа.

Приложение 1

ТАБЛИЦА ЗА ДЕЦИБЕЛИТЕ

Децибел (dB)	Отношение между токове и напрежение		Отношение между мощност		Децибел (dB)	Отношение между токове и напрежение		Отношение между мощност	
	усиление	отслабване	усиление	отслабване		усиление	отслабване	усиление	отслабване
0,1	1,01	0,989	1,02	0,977	4,2	1,62	0,617	2,63	0,380
0,2	1,02	0,977	1,05	0,955	4,4	1,66	0,603	2,75	0,363
0,3	1,03	0,966	1,07	0,933	4,6	1,70	0,589	2,88	0,347
0,4	1,05	0,955	1,10	0,912	4,8	1,74	0,575	3,02	0,331
0,5	1,06	0,944	1,12	0,891	5,0	1,78	0,562	3,16	0,316
0,6	1,07	0,933	1,15	0,871	5,5	1,88	0,531	3,55	0,282
0,7	1,08	0,923	1,17	0,851	6,0	1,99	0,501	3,98	0,251
0,8	1,10	0,912	1,20	0,832	6,5	2,11	0,473	4,47	0,224
0,9	1,11	0,902	1,23	0,813	7,0	2,24	0,447	5,01	0,199
1,0	1,12	0,891	1,26	0,794	7,5	2,37	0,422	5,62	0,178
1,1	1,13	0,881	1,29	0,776	8,0	2,51	0,398	6,31	0,158
1,2	1,15	0,871	1,32	0,759	8,5	2,66	0,376	7,08	0,141
1,3	1,16	0,861	1,35	0,741	9,0	2,82	0,355	7,94	0,126
1,4	1,17	0,851	1,38	0,724	9,5	2,98	0,335	8,91	0,112
1,5	1,19	0,841	1,41	0,708	10,0	3,16	0,316	10,00	0,100
1,6	1,20	0,832	1,44	0,692	11,0	3,55	0,282	12,6	0,079
1,7	1,22	0,822	1,48	0,676	12,0	3,98	0,251	15,8	0,063
1,8	1,23	0,813	1,51	0,661	13,0	4,47	0,224	19,9	0,050
1,9	1,24	0,803	1,55	0,646	14,0	5,01	0,199	25,1	0,040
2,0	0,26	0,794	1,58	0,631	15,0	5,62	0,178	31,6	0,032
2,2	1,29	0,776	1,66	0,603	16,0	6,31	0,158	39,8	0,025
2,4	1,32	0,759	1,74	0,575	17,0	7,08	0,141	50,1	0,020
2,6	1,35	0,741	1,82	0,550	18,0	7,94	0,126	63,1	0,016
2,8	1,38	0,724	1,90	0,525	19,0	8,91	0,112	79,4	0,013
3,0	1,41	0,708	1,99	0,501	20,0	10,00	0,100	100	0,010
3,2	1,44	0,692	2,09	0,479	25	17,7	0,056	316	0,003
3,4	1,48	0,676	2,19	0,457	30	33,6	0,032	1000	0,001
3,6	1,51	0,66	2,29	0,436	35	56,0	0,018	3160	0,0003
3,8	1,55	0,646	2,40	0,417	40	100,0	0,010	10000	0,0001
4,0	1,58	0,631	2,51	0,398	50	316,0	0,003	100000	0,00001

Приложение 2
КВАДРАТНИ СТЕПЕНИ И КВАДРАТЕН КОРЕН НА ЧИСЛА ОТ 1 ДО 100

n	n^2	$\sqrt{n}$	n	n^2	$\sqrt{n}$	n	n^2	$\sqrt{n}$	n	n^2	$\sqrt{n}$
1	1	1,0000	21	441	4,5826	41	1681	40,7745	61	3721	7,8102
2	4	1,4142	22	484	4,6904	42	1764	41,8329	62	3844	7,8740
3	9	1,7321	23	529	4,7958	43	1849	42,9273	63	3969	7,9373
4	16	2,0000	24	576	4,8989	44	1936	43,8257	64	4096	8,0000
5	25	2,2361	25	625	5,0000	45	2025	44,7214	65	4225	8,0623
6	36	2,4495	26	676	5,0990	46	2116	45,5941	66	4356	8,1240
7	49	2,6458	27	729	5,1962	47	2209	46,4558	67	4489	8,1854
8	64	2,8284	28	784	5,2915	48	2304	47,3096	68	4624	8,2462
9	81	3,0000	29	841	5,3852	49	2401	48,1562	69	4761	8,3066
10	100	3,1623	30	900	5,4772	50	2500	49,0000	70	4900	8,3664
11	121	3,3166	31	961	5,5678	51	2601	49,8331	71	5041	8,4261
12	144	3,4641	32	1024	5,6569	52	2704	50,6584	72	5184	8,4853
13	169	3,6056	33	1089	5,7446	53	2809	51,4789	73	5329	8,5440
14	196	3,7417	34	1156	5,8310	54	2916	52,2902	74	5476	8,6023
15	225	3,8730	35	1225	5,9161	55	3025	53,0918	75	5625	8,6603
16	256	4,0000	36	1296	6,0000	56	3136	53,8841	76	5776	8,7178
17	289	4,1231	37	1369	6,0828	57	3249	54,6668	77	5929	8,7750
18	324	4,2426	38	1444	6,1644	58	3364	55,4398	78	6084	8,8318
19	361	4,3589	39	1521	6,2450	59	3481	56,2028	79	6241	8,8882
20	400	4,4721	40	1600	6,3246	60	3600	56,9539	80	6400	8,9443

СЪДЪРЖАНИЕ

Предговор

А. Трептящи кръгове

1. Свободно трептене на единичен кръг	5
2. Свободно трептене на свързаните кръгове	12
3. Последователен трептящ кръг	14
4. Паралелен трептящ кръг	19
5. Принудено трептене на свързаните кръгове	25

Б. Антени

1. Предавателни антени	30
2. Приемни антени	39

В. Електромагнитни вълни
Г. Електровакуумни прибори

1. Отоплителна верига на електровакуумните прибори	44
2. Двуелектродна лампа	47
3. Триелектродна лампа	55
4. Тетрод и пентод	64

Д. Радиопредаватели

1. Автогенератор	67
2. Усилвател	77
3. Стабилизиране на честотата	86
4. Управление високочестотните трептения на радиопредавателя и филтрация на висшите хармонични	89
5. Цялостно изчисление на любителски радиопредавател	103

Е. Радиоприемници

1. Входни вериги	115
2. Резонансен усилвател	120
3. Детектори	129
4. Нискочестотни усилватели	136
а) Общи положения	136
б) Нискочестотен усилвател на напрежение	138
в) Крайно стъпало	144
5. Суперхетеродинен радиоприемник	155
6. Качествени показатели на радиоприемниците	165
7. Цялостно изчисление на любителски линеен радиоприемник	167
8. Преконструване на житейния радиоприемник в най-прост суперхетеродин	18

Издателството моли читателите да дават бележки и преценки както по съдържанието на книгата, така и по нейното художествено и техническо оформление, като съобщават своя точен адрес, професия и възраст.

Молим също така библиотечните работници да уведомяват периодично издателството за търсенето на книгата и да събират читателски отзиви.

Всички материали да се изпращат на адрес: София, ул. „Молотов“ 2, Държавно издателство „Медицина и физкултура“.

Редактор Никола Никитов
Технически редактор Никола Нанков
Коректор Елка Паназова

Дадена за набор на 19. XI. 1957 г. Подписана за печат на 25. I. 1958 г.
Печатни коли 12 Издателски коли 9-96
Формат 16/59/84 Тираж 3060
Темат. № 1052 Издат. № 300 Лит. група III-2
Цена 4 лв. по ценоразписа от 1955 г.

Държавно издателство „Медицина и физкултура“, Молотов, 2
Държавна печатница „Дечо Стефанов“, София

ПЕЧАТНИ ГРЕШКИ

Стр	Ред. глава	Напечатано	Да се чет	По вина на
5	4	$\log_e \frac{I_{n-1}}{I_n}$ на индуктивността напрежение 2×3002	$\log_e \frac{I_{n-1}}{I_n}$ на взаимопреиндуктивността напрежение 2×300	печатницата
12	10	$\frac{1}{2} I_{sp} \cdot R_{обш}$ $\left(\frac{1^2}{1+2} \right) \cdot 1,2 =$	$\frac{1}{2} I_{sp} \cdot R_{обш}$ $\left(\frac{1^2}{1+2} \right) \cdot 1,2 =$	редактора
54	17	$\sqrt{R_{A,B}^2 + X_{A,B}^2}$ формула 116	$\sqrt{R_{A,B}^2 + X_{A,B}^2}$ формула 116	печатницата
81	11	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 94	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 95	автора
95	11	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 94	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 95	автора
117	18	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 94	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 95	автора
122	4	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 94	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 95	автора
137	4	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 94	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 95	автора
157	8	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 94	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 95	автора
182	2	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 94	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 95	автора
184	3	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 94	$\frac{\Delta f}{C_x + C_x} = \frac{1,40 + C_x}{C_x}$ рис. 95	автора